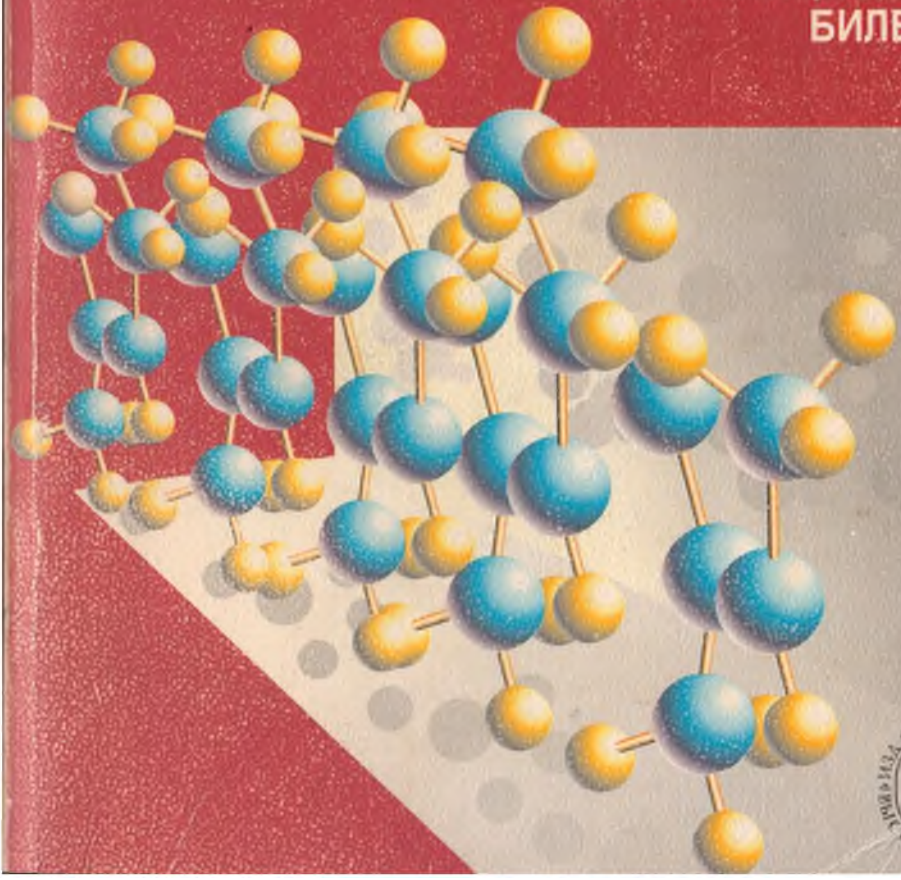
С.А. Пузаков В.А.Попков

ПОСОБИЕ ПО ХИМИИ

вопросы
упражнения
задачи

ОБРАЗЦЫ ЭКЗАМЕНАЦИОННЫХ БИЛЕТОВ



Высшая школа

С.А. Пузаков В.А.Попков

ПОСОБИЕ ПО ХИМИИ
Вопросы, упражнения, задачи

ОБРАЗЦЫ ЭКЗАМЕНАЦИОННЫХ БИЛЕТОВ

Издание четвертое,
стереотипное



Москва
«Высшая школа»
2005

УДК 54
ББК 24
П88

Рекомендовано Министерством образования Российской Федерации

Рецензенты: кафедра общей и биоорганической химии Московского стоматологического института (зав. кафедрой — проф. *А. С. Берлянд*) и д-р хим. наук, проф. *Н. В. Зык* (Московский государственный университет)

Пузаков, С. А.

П88 Пособие по химии для поступающих в вузы. Вопросы, упражнения, задачи. Образцы экзаменационных билетов: Учеб. пособие.— 4-е изд., стер./С. А. Пузаков, В. А. Попков.— М.: Высш. шк., 2005. — 623 с.: ил.

ISBN 5-06-004465-3

В пособие включены 3700 упражнений и задач, охватывающих весь курс элементарной химии, а также образцы экзаменационных билетов, которые предлагали абитуриентам в 1998 — 2002 гг. Каждый из разделов пособия содержит краткое теоретическое введение и справочный материал, необходимый для самостоятельной работы в процессе подготовки к конкурсным испытаниям, примеры решения типовых задач. Включен материал для учащихся специализированных медико-биологических классов.

В 3-м издании увеличена доля ситуационных и расчетных задач за счет сокращения вопросов, требующих простого воспроизведения учебного материала. В новое издание включены ранее не публиковавшиеся 216 задач и 126 упражнений. Увеличено также число разнообразных примеров расчетных задач (всего 88). Существенно переработан раздел 2.5 (Фосфор и его соединения).

Для поступающих в вузы, учащихся старших классов общеобразовательных и специализированных школ, лицеев, гимназий, студентов колледжей, а также для преподавателей химии.

УДК 54
ББК 24

ISBN 5-06-004465-3 © ФГУП «Издательство «Высшая школа», 2005

Оригинал-макет данного издания является собственностью издательства «Высшая школа», и его репродуцирование (воспроизведение) любым способом без согласия издательства запрещается.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящее пособие является четвертым стереотипным изданием и представляет собой современный многоуровневый сборник задач и упражнений по химии. Он адресован поступающим в вузы, учащимся старших классов общеобразовательных и специализированных школ, лицеев, студентов колледжей, а также преподавателям химии.

В пособие включен краткий теоретический материал, необходимый, прежде всего, для решения задач. Он не охватывает всех тем курса и его не следует рассматривать как самостоятельный, пусть даже краткий курс элементарной химии. При подготовке к экзамену необходимо, безусловно, пользоваться литературой, содержащей более обширный фактический материал.

Вопросы, оригинальные ситуационные и расчетные задачи, предусмотренные для самостоятельной работы, сгруппированы в три больших раздела, из которых традиционно складывается первоначальный курс химии: общая химия, неорганическая химия, органическая химия. В каждом из разделов упражнения и задачи распределены по темам, причем задания в них расположены в порядке возрастания сложности. Каждый раздел завершается комбинированными упражнениями и задачами.

Пособие может быть использовано также преподавателями специализированных школ и подготовительных курсов, поскольку практически каждый тип задания встречается в нескольких вариантах, что позволяет часть из них использовать при объяснении на уроках, другую часть — в качестве заданий на дом, и, наконец, остаются еще задания для контролирующих мероприятий. Поскольку большинство специализированных классов работает по расширенным программам, в пособие включены некоторые упражнения и задачи, выходящие за рамки типовой программы по химии для поступающих в вузы. Такие задания отмечены в тексте звездочкой (*).

В третье издание были включены ранее не публиковавшиеся 216 задач и 126 упражнений, а однотипные несложные задачи и упражнения исключены. В целом доля вопросов и задач, требующих нестандартного подхода при решении, увеличилась за счет

сокращения вопросов, требующих простого воспроизведения учебного материала. Увеличено также число разобранных примеров расчетных задач (всего 88).

Расширен (почти в два раза) четвертый раздел, в котором приведены образцы экзаменационных билетов, предлагавшиеся на вступительных испытаниях в Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова и Московскую медицинскую академию им. И. М. Сеченова в 1997 — 2002 гг., а также варианты ответов на вопросы этих билетов. Надеемся, что материал этого раздела поможет абитуриентам составить четкое представление об уровне требований на экзаменах, проводимых в письменной форме.

Несколько практических советов по работе с этой книгой. Абитуриентам, самостоятельно готовящимся к конкурсным испытаниям, авторы рекомендуют выполнять упражнения подряд, пропуская лишь однотипные задания, подобные которым не вызвали затруднений, а также проработать все задания обобщающих разделов, особенно задания, заключающиеся в составлении уравнений реакций по схемам. Это наиболее трудные задания, однако они позволяют в максимальной степени активизировать знания по свойствам органических и неорганических веществ. Ряд заданий имеет альтернативные варианты ответов (в некоторых случаях до 10 и более), в большинстве случаев это специально не оговаривается.

Ответы в расчетных задачах следует давать с точностью до трех значащих цифр, кроме тех случаев, когда ответ представляет собой точное число. При расчетах числовые значения физико-химических констант берутся с точностью до трех значащих цифр, молярные массы (кроме хлора) — до двух цифр. Для большинства расчетных задач в конце книги даны ответы.

Некоторые оригинальные упражнения и задачи предоставлены доцентом ММА Александром Петровичем Лузиным, за что выражаем ему глубокую благодарность. Авторы искренне признательны профессору химии МГУ Николаю Егоровичу Кузьменко, предоставившему образцы экзаменационных билетов МГУ, и благодарны всем коллегам и учащимся, сделавшим замечания по поводу некоторых задач и упражнений. При подготовке настоящего издания все замечания были учтены.

Авторы

РАЗДЕЛ 1
ОБЩАЯ ХИМИЯ

1.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ХИМИИ

Химия изучает строение, свойства и взаимопревращения веществ. Вещество и поле — две формы существования материи. В наиболее общем виде *вещество* определяется как любая совокупность атомов и (или) молекул. *Атом* — электронейтральная частица, состоящая из взаимодействующих положительно заряженного ядра и отрицательно заряженных электронов. *Ядро атома* (нуклид) состоит из протонов и нейтронов. *Химическим элементом* называют определенный вид атомов, имеющий одинаковый заряд ядра. *Число протонов* соответствует порядковому номеру элемента в периодической системе элементов Д. И. Менделеева; сумма протонов и нейтронов — *массовому числу*. Атомы, имеющие одинаковый заряд ядра, но разные массовые числа, называются *изотопами*.

Существуют и другие определения атома: 1) наименьшая частица химического элемента, носящая его свойства; 2) наибольшая частица материи, сохраняющаяся при химических превращениях веществ. Вещества, образованные атомами одного элемента, называются *простыми веществами*. Один элемент может образовывать несколько простых веществ (аллотропных модификаций). *Сложные вещества* (химические соединения) образованы атомами разных элементов и имеют состав либо постоянный (дальтониды), либо меняющийся в некоторых пределах (бертоллиды).

Вещества могут иметь разное строение: атомное, молекулярное, ионное, металлическое и др. В твердом состоянии вещества образуют *кристаллические решетки* — трехмерные упорядоченности частиц. В узлах кристаллических решеток веществ с молекулярным строением находятся геометрически обособленные молекулы, связанные между собой межмолекулярными взаимодей-

ствиями. *Малекула* — наименьшая электронейтральная замкнутая совокупность атомов, образующих определенную структуру с помощью химических связей. Существует и другое определение: молекула — наименьшая частица вещества, обладающая его химическими свойствами. В узлах кристаллических решеток веществ атомного и ионного строения находятся соответственно атомы и ионы. Выделение в атомной или ионной структуре простейшей группы атомов, многократное повторение которой воспроизводит структуру вещества, является условным. Такие условные частицы называются *формульными единицами*. Например, N_2O и HCl — молекулы; SiO_2 (вещество атомного строения) и NaCl (вещество ионного строения) — формульные единицы.

При решении расчетных задач в химии используют различные физико-химические параметры и константы. Параметры, величины которых не зависят от размера системы (например, порции вещества), называются *интенсивными*. К ним относятся давление p, температура T, плотность ρ, массовая доля ω.

Массовая доля ω показывает отношение массы компонента к массе всей системы. Массовая доля — величина безразмерная; ее числовое значение представляют либо в долях единицы, либо в процентах:

в долях единицы

$$\omega(X)=\frac{m(X)}{m_{сумм}} \quad (0<\omega<1);$$

в процентах

$$\omega(X)=\frac{m(X)}{m_{сумм}}\,100\% \quad (0\%<\omega<100\%),$$

где $m(X)$ — масса компонента; $m_{сумм}$ — масса всей системы.

Элемент характеризуется *относительной атомной массой* A_r, которая представляет собой средневзвешенную массовых чисел природных изотопов данного элемента. Вещество характеризуется *относительной молекулярной массой* M_r. Это безразмерная величина, равная сумме относительных атомных масс элементов всех атомов, составляющих формульную единицу. *Молярная масса* M численно равна относительной молекулярной массе и измеряется в граммах на моль (г/моль). Молярная масса также является интенсивным параметром. При решении задач в данном пособии все значения относительных атомных масс элементов, кроме хлора, следует округлять до целых (относительную атомную массу хлора считают равной 35,5).

Параметры, числовые значения которых зависят от размера системы, называются *экстенсивными*. К ним относятся масса m, объем V, количество вещества ν.

Количество вещества ν является мерой содержания формульных единиц вещества и рассчитывается по формуле. Единица измерения количества вещества — *моль*. В 1 моль вещества содержится столько формульных единиц, сколько содержится атомов углерода в 12 г изотопа углерода ^{12}C. Формулы для расчета количества вещества:

$$\nu(X)=\frac{m(X)}{M(X)}, \quad \nu(X)=\frac{N(X)}{N_A},$$

где $N(X)$ — число частиц; N_A — постоянная Авогадро, равная $6{,}02\cdot10^{23}$ моль$^{-1}$.

Пример 1. Вычислите массовую долю натрия в кристаллогидрате гидрофосфата натрия, в котором число атомов водорода в 1,364 раза больше числа атомов кислорода.

Решение. Формула кристаллогидрата: $Na_2HPO_4\cdot nH_2O$, где n — число молекул воды. Число атомов водорода составляет $1+2n$, а число атомов кислорода $4+n$. Из условия задачи следует:

$$\frac{1+2n}{4+n}=1{,}364.$$

Решая полученное уравнение, находим, что $n=7$.

Следовательно, формула кристаллогидрата $Na_2HPO_4\cdot7H_2O$.

Рассчитываем массовую долю натрия в кристаллогидрате:

$$\omega(Na)=\frac{2M(Na)}{M(Na_2HPO_4\cdot7H_2O)}; \quad \omega(Na)=\frac{2\cdot23}{268}=0{,}172,$$

т. е. массовая доля натрия составляет 17,2%.

Пример 2. В каком молярном соотношении были смешаны гидрофосфат кальция и дигидрофосфат кальция, если массовая доля кальция в полученной смеси составляет 20%?

Решение. Пусть $\nu(CaHPO_4)=x$ (моль); $\nu(Ca(H_2PO_4)_2=y$ (моль). Тогда

$$m(CaHPO_4)=136x;\ m(Ca(H_2PO_4)_2)=234y;\ m(Ca)=40(x+y).$$

По условию задачи:

$$\frac{40(x+y)}{136x+234y}=0{,}2.$$

Преобразуя приведенное выше выражение, получаем $y/x=1{,}88$, т. е. $\nu(Ca(H_2PO_4)_2):\nu(CaHPO_4)=1{,}88:1$.

Пример 3. В смеси оксида натрия и пероксида натрия на 8 атомов натрия приходится 7 атомов кислорода. Вычислите массовые доли веществ в такой смеси.

Решение. Пусть $\nu(Na_2O)=x$; $\nu(Na_2O_2)=y$. Тогда $\nu(Na)=2x+2y$; $\nu(O)=x+2y$. По условию задачи:

$$\frac{2x+2y}{x+2y}=\frac{8}{7}.$$

Преобразуя приведенное выше выражение, получаем $y=3x$. Выразим через x массы соединений:

$$m(Na_2O)=M(Na_2O)\,\nu(Na_2O);\ m(Na_2O)=62x;$$

$$m(Na_2O_2)=M(Na_2O_2)\,\nu(Na_2O_2);\ m(Na_2O_2)=78\cdot 3x=234x;$$

$$m(Na_2O+Na_2O_2)=62x+234x=296x.$$

Вычислим массовую долю оксида натрия:

$$\omega(Na_2O)=\frac{m(Na_2O)}{m(Na_2O+Na_2O_2)}=\frac{62x}{296x}=0{,}209,$$

т. е. $\omega(Na_2O)=20{,}9\%$; $\omega(Na_2O_2)=100\%-20{,}9\%=79{,}1\%$.

Пример 4. В смеси пирита (дисульфида железа) и сульфата железа (II) содержится по $6{,}02\cdot 10^{21}$ атомов железа и кислорода. Вычислите массу этой смеси.

Решение. Вычислим количества вещества атомов:

$$\nu(Fe)=n(Fe):N_A;\ \nu(Fe)=6{,}02\cdot 10^{21}:6{,}02\cdot 10^{23}=0{,}01 \text{ моль};$$

$$\nu(O)=\nu(Fe)=0{,}01 \text{ моль}.$$

Так как в одной формульной единице $FeSO_4$ содержится 4 атома кислорода,

$$\nu(FeSO_4)={}^1/_4\,\nu(O);\ \nu(FeSO_4)=0{,}25\cdot 0{,}01=0{,}0025 \text{ моль}.$$

Количество вещества атомов железа в $FeSO_4$ численно равно количеству вещества $FeSO_4$, т. е. 0,0025 моль. Следовательно, в пирите содержится $0{,}01-0{,}0025=0{,}0075$ моль атомов железа и, таким образом, $\nu(FeS_2)=0{,}0075$ моль. Рассчитываем массу каждого вещества: $m(FeSO_4)=M(FeSO_4)\,\nu(FeSO_4)$; $m(FeSO_4)=152\cdot 0{,}0025=0{,}38$ г; $m(FeS_2)=M(FeS_2)\,\nu(FeS_2)$; $m(FeS_2)=120\cdot 0{,}0075=0{,}9$ г; а масса смеси равна $0{,}38+0{,}9=1{,}28$ г.

Пример 5. В порции кристаллогидрата ацетата калия находится $3{,}612\cdot 10^{23}$ атомов углерода и $1{,}084\cdot 10^{24}$ атомов водорода. Вычислите число атомов кислорода в этой же порции кристаллогидрата.

Решение. Формула кристаллогидрата: $CH_3COOK\cdot nH_2O$, где n — число молекул воды. Число атомов кислорода в безводной соли равно числу атомов углерода, т. е. $3{,}612\cdot 10^{23}$. Поскольку число атомов водорода в безводной соли в 1,5 раза больше числа атомов углерода, оно составляет $1{,}5\cdot 3{,}612\cdot 10^{23}=5{,}418\cdot 10^{23}$.

Число атомов водорода в составе кристаллизационной воды рассчитаем как разницу между числом атомов во всем кристаллогидрате и числом атомов в безводной соли: $10{,}84\cdot 10^{23}-5{,}418\cdot 10^{23}=5{,}422\cdot 10^{23}$.

В кристаллизационной воде число атомов кислорода в 2 раза меньше числа атомов водорода и равно $0{,}5\cdot 5{,}422\cdot 10^{23}=2{,}711\cdot 10^{23}$.

Таким образом, число атомов кислорода в порции кристаллогидрата составляет сумму: $3{,}612\cdot 10^{23}+2{,}711\cdot 10^{23}=6{,}32\cdot 10^{23}$.

ВОПРОСЫ, УПРАЖНЕНИЯ И ЗАДАЧИ

1. В чем заключается разница в терминах «атом» и «молекула»?

2. Какое отличие терминов «вещество» и «элемент»?

3. В чем заключается разница в терминах «относительная молекулярная масса» и «молярная масса»?

4. Приведите современную формулировку периодического закона.

5. Какие из перечисленных элементов относятся к *s*-элементам, а какие — к *p*-элементам: титан, кислород, литий, мышьяк, свинец, аргон, уран, железо, цинк, кальций?

6. Какие из перечисленных элементов относятся к *d*-элементам: вольфрам, фтор, церий, ксенон, золото, палладий, магний, торий, стронций, ртуть?

7. Изотоп какого элемента имеет массовое число 70 и 40 нейтронов в ядре? Напишите электронную конфигурацию иона этого элемента.

8. Изотоп какого элемента имеет массовое число 34 и 18 нейтронов в ядре? Напишите электронную конфигурацию отрицательно заряженного иона этого элемента.

9. Изотоп какого элемента имеет массовое число 135 и 79 нейтронов в ядре? Напишите электронную конфигурацию иона этого элемента.

10. Естественная радиоактивность изотопа тория с массовым числом 234 сопровождается образованием электрона, двух нейтронов и изотопа другого элемента. Какой это элемент? Напишите уравнение ядерной реакции.

11. Для получения одного из трансурановых элементов изотоп эйнштейния с массовым числом 253 бомбардируют α-частицей. В ходе ядерной реакции образуется изотоп нового элемента и нейтрон. Какой это элемент? Напишите уравнение ядерной реакции.

12. Закончите уравнения следующих ядерных реакций:

а) $^{209}Bi + \alpha\text{-частица} \rightarrow 2\,^{1}n + \ldots$

б) $^{63}Cu + \text{протон} \rightarrow {}^{1}n + \ldots$

в) $^{10}B + \text{нейтрон} \rightarrow {}^{7}Li + \ldots$

13. Сколько всего электронов имеет атом фосфора? Сколько электронов находится на внутренних уровнях (не участвующих в образовании химических связей)? Есть ли у этого атома в основном состоянии на внешнем уровне спаренные электроны (если есть, то сколько пар)? Сколько у атома фосфора в основном состоянии неспаренных электронов?

14. Запишите электронную конфигурацию атома серы. Приведите по одному примеру электронов в атоме серы, которые различаются значениями только одного квантового числа; двух чисел; трех чисел.

15. Какие элементы имеют электронные конфигурации:
а) $1s^22s^22p^63s^23p^64s^23d^2$; б) $1s^22s^22p^63s^23p^2$; в) $1s^22s^22p^63s^23p^64s^23d^6$; г) $1s^22s^22p^63s^23p^4$; д) $1s^22s^22p^63s^23p^64s^2$; е) $1s^22s^22p^63s^23p^3$?

16. Напишите электронные конфигурации двух разных атомов в основном состоянии, у которых имеются 18 внутренних электронов, а на внешнем уровне находится только один неспаренный электрон.

17. Сколько электронов и протонов содержат следующие частицы: а) молекула хлора; б) атом аргона; в) ион гидроксония H_3O^+; г) молекула аммиака NH_3; д) нитрит-ион NO_2^-; е) ион аммония?

18. Сколько электронов и протонов содержат следующие частицы: а) молекула водорода; б) гидрид-ион H^-; в) молекула гидрида кальция CaH_2; г) оксид-ион O^{-2}; д) пероксид-ион HO_2^-; е) молекула карбида серебра Ag_2C_2?

19. Имеются ли у перечисленных ниже частиц указанные орбитали: а) у иона стронция — 5*s*, 3*f*, 2*p*, 5*d*; б) у атома азота — 3*d*, 1*s*, 2*f*, 2*p*; в) у бромид-иона 2*d*, 4*f*, 5*s*, 4*p*? Поясните.

20. Природный магний представляет собой смесь изотопов с массовыми числами 24, 25 и 26. Их распространенность в природе составляет соответственно 79,0; 10,0 и 11,0%. Вычислите на основании этих данных относительную атомную массу магния и сравните полученный результат с приведенным в периодической таблице элементов.

21. Природное серебро представляет собой смесь изотопов с массовыми числами 107 и 109. Вычислите, какого из изотопов в природе больше и во сколько раз (атомную массу серебра возьмите с точностью до четырех значащих цифр).

22. Природный кремний представляет собой смесь изотопов с массовыми числами 28, 29 и 30. На долю самого тяжелого изотопа приходится 3,10% всех атомов кремния. Вычислите, атомов какого изотопа (Si-28 или Si-29) в природе больше и во сколько раз.

23. Что такое валентность? Приведите примеры веществ, по отношению к которым можно и нельзя использовать понятие валентности.

24. Укажите характер связей между всеми атомами в следующих веществах: оксид азота (II), сульфат натрия, водород, фосфат натрия, хлорид натрия, фторид кислорода, аммиак, карбонат бария, фтор.

25. Приведите примеры соединений, в состав которых входят: а) анион с конфигурацией $1s^22s^22p^63s^23p^6$ и катион с конфигурацией $1s^22s^22p^6$; б) катион с конфигурацией $1s^22s^22p^63s^23p^6$ и анион с конфигурацией $1s^22s^22p^6$.

26. Гормон инсулин имеет относительную молекулярную массу 5734. Вычислите массу (г) одной молекулы инсулина.

27. Масса молекулы хлорофилла равна $1{,}485 \cdot 10^{-18}$ мг. Вычислите молярную массу хлорофилла.

28. Какому количеству вещества соответствует масса оксида железа (II, III) Fe_3O_4, равная 3,48 г?

29. Вычислите массу 0,250 моль дисульфида железа FeS_2.

30. Где находится большее число молекул: в 0,160 г оксида серы (VI) или в 0,130 г оксида серы (IV)? Ответ подтвердите расчетами.

31. Где находится большее число атомов: в 4,60 г оксида железа (III) или в 4,00 г оксида железа (II)? Ответ подтвердите расчетами.

32. Соль Мора имеет формулу $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$. Вычислите в этом веществе массовую долю: а) азота; б) воды; в) сульфат-ионов.

33. В каких галогенидах щелочных металлов массовая доля металла меньше массовой доли галогена?

34. Вычислите область допустимых значений массовой доли калия в смеси двух его галогенидов, в каждом из которых массовая доля металла больше массовой доли галогена.

35. Вычислите область допустимых значений массовой доли серы в смеси двух сульфидов металлов IIA-группы, в каждом из которых массовая доля серы больше массовой доли металла.

36. Каких атомов — железа или магния — больше находится в земной коре и во сколько раз? Массовые доли железа и магния в земной коре соответственно равны 4,10 и 2,30%.

37. Имеется образец фосфата кальция количеством вещества 0,15 моль. Вычислите количество вещества в этом образце: а) атомов кальция; б) атомов кислорода; в) атомов фосфора; г) фосфат-ионов; д) электронов.

38. В порции натрия (пл. 0,971 г/см^3) содержится число протонов, равное числу электронов в порции осмия. Объем порции натрия в 19,47 раз больше объема порции осмия. Вычислите плотность осмия.

39. В некоторой порции пентагидрата сульфата меди содержится 0,25 моль воды. Вычислите массу этой порции кристаллогидрата.

40. В некоторой порции сульфата алюминия содержится 2,4 моль атомов кислорода. Вычислите количество вещества ионов алюминия в этой порции соли.

41. В какой массе дигидрата сульфата кальция содержится число электронов, равное числу Авогадро?

42. Рассчитайте массу фосфида кальция Ca_3P_2, в которой общее число атомов будет таким же, как в оксиде фосфора (V) массой 1,42 г.

43. В природных водах масса обычной воды (H_2O) больше массы тяжелой воды, образованной дейтерием (D_2O), в 5500 раз. Вычислите число изотопов дейтерия, содержащихся в 1,00 мл природной воды.

44. Относительная молекулярная масса кристаллогидрата сульфата железа (II) равна 278. Установите формулу этого кристаллогидрата.

45. Относительная молекулярная масса иодида металла в 3,972 раза больше относительной молекулярной массы его фторида. Металл в обоих соединениях имеет степень окисления +3. Установите, какой это металл.

46. Металл имеет в соединениях постоянную степень окисления +2. Молярная масса его оксида в 3,928 раза меньше молярной массы его фосфата. Установите, какой это металл.

47. Приведите примеры металлов, для соединений которых соблюдаются следующие условия: а) M_r (оксид) > M_r (бромид); б) M_r (хлорид) < M_r (оксид) < M_r (бромид). Металлы находятся в соединениях в одинаковой степени окисления.

48. Вычислите массу бромид-ионов, которые попадут в организм с 10,0 мл микстуры, в 200 мл которой содержится по 2,00 г бромида натрия и бромида калия.

49. Вычислите общее число атомов и общее число электронов в 14,0 г гептагидрата сульфата никеля (II).

50. Имеется смесь равных масс гептагидрата гидрофосфата натрия и дигидрата дигидрофосфата натрия. Сколько в этой смеси приходится атомов кислорода на один атом фосфора?

51. Рассчитайте массу атомов кислорода, содержащихся в 51,0 г ацетата бария.

52. Рассчитайте массу атомов водорода, содержащихся в 143 г моногидрата ацетата меди.

53. Вычислите массу нитрата хрома (III), в которой содержится 10^{26} протонов.

54. Общее число атомов в образце галогенида натрия, в котором массовая доля металла больше массовой доли галогена, равно $6{,}02 \cdot 10^{22}$. Вычислите массу образца этой соли.

55. Общее число атомов в образце оксида металла IIA-группы, в котором массовая доля кислорода больше массовой доли металла, равно $3{,}01 \cdot 10^{21}$. Вычислите массу образца оксида.

56. В некоторой порции кристаллогидрата сульфата железа (III) число атомов кислорода в 15 раз больше числа Авогадро, а число атомов железа точно соответствует числу Авогадро. Выведите формулу кристаллогидрата.

57. Массовая доля воды в кристаллогидрате ацетата цинка равна 16,4%. Установите формулу кристаллогидрата.

58. Число атомов водорода, равное числу Авогадро, содержится в 21,9 г кристаллогидрата ацетата цинка. Установите формулу кристаллогидрата.

59. Массовая доля кислорода в кристаллогидрате нитрата железа (III) равна 0,713. Установите формулу кристаллогидрата.

60. В соединении, в состав которого входят только кислород и барий, массовая доля металла равна 81,07%. Установите простейшую формулу этого соединения.

61. В соединении, в состав которого входят только кислород и хлор, массовая доля галогена равна 38,8%. Установите простейшую формулу этого оксида.

62. В одной из кислородсодержащих кислот фосфора массовые доли водорода и кислорода равны соответственно 0,0366 и 0,585. Установите простейшую формулу этой кислоты.

63. Приведите формулу соединения, в котором массовая доля хрома в 26 раз больше массовой доли водорода, а массовая доля кислорода в 32 раза больше массовой доли водорода.

64. В одном из фосфидов число атомов металла в 1,5 раза больше числа атомов фосфора, а массовая доля этого металла на 7,46% больше массовой доли фосфора. Установите формулу фосфида.

65. В 0,0150 моль фосфида, образованного металлом IIA-группы, находится 1,35 моль протонов. Какой металл образовал фосфид?

66. В смеси оксида меди (I) и оксида меди (II) на 4 атома меди приходится 3 атома кислорода. Вычислите массовые доли веществ в такой смеси.

67. В смеси двух хлоридов железа на 5 атомов железа приходится 13 атомов хлора. Вычислите массовые доли веществ в такой смеси.

68. В смеси карбида кальция CaC_2 и карбоната кальция содержится по $1{,}81 \cdot 10^{24}$ атомов кальция и кислорода. Вычислите массу этой смеси.

69. В смеси карборунда [карбид кремния SiC] и кварца [оксид кремния (IV)] содержится по $3{,}01 \cdot 10^{24}$ атомов кремния и кислорода. Вычислите массу этой смеси.

70. В каком молярном соотношении были смешаны карбид кальция и карбонат кальция, если массовая доля углерода в полученной смеси равна 25,0%?

71. В каком молярном соотношении были смешаны гидросульфит натрия $NaHSO_3$ и гидросульфид натрия NaHS, если массовая доля серы в полученной смеси равна 45,0%?

72. Какую массу гидросульфата аммония NH_4HSO_4 следует добавить к 3,60 г гидросульфита калия $KHSO_3$, чтобы в получен-

ной смеси содержалось одинаковое число атомов водорода и кислорода?

73. Какую массу сульфата калия следует добавить к 5,50 г сульфида калия, чтобы в полученной смеси массовая доля серы стала равной 20,0%?

74. Вычислите массовую долю бария в кристаллогидрате гидроксида бария, в котором число атомов водорода в 1,8 раза больше числа атомов кислорода.

75. В 0,250 моль кристаллогидрата разница между массой кристаллизационной воды и массой безводной соли равна 59,5 г. Массовая доля кристаллизационной воды составляет 28,83%. Вычислите относительную молекулярную массу кристаллогидрата.

76. В 2,00 моль кристаллогидрата разница между массой кристаллизационной воды и массой безводной соли равна 26,0 г. Массовая доля кристаллизационной воды составляет 0,468. Вычислите молярную массу кристаллогидрата.

77. В кристаллогидрате, образованном средней солью металла, массовая доля кристаллизационной воды равна 50,0%. Вычислите массу водорода, содержащегося в 100 г этого кристаллогидрата.

78. В кристаллогидрате, образованном солью бескислородной кислоты, массовая доля соли равна 0,755. Вычислите массу кислорода, содержащегося в 1,00 г этого кристаллогидрата.

79. В некоторой порции кристаллогидрата ацетата магния находится $9{,}632 \cdot 10^{23}$ атомов углерода и $3{,}371 \cdot 10^{24}$ атомов водорода. Вычислите число атомов кислорода, находящихся в этой порции кристаллогидрата.

80. В некоторой порции кристаллогидрата ацетата бария находится $4{,}816 \cdot 10^{23}$ атомов углерода и $8{,}428 \cdot 10^{23}$ атомов кислорода. Вычислите число атомов водорода, находящихся в этой порции кристаллогидрата.

81. В смеси нитрата аммония и нитрата свинца (II) массовая доля азота равна 25,0%. Вычислите массовую долю свинца в этой смеси.

82. В смеси нитрата аммония и нитрата бария массовая доля азота равна 30,0%. Вычислите массовую долю нитрат-ионов в смеси.

83. В 0,100 моль растворимого в воде карбоната находится 5,20 моль электронов. Напишите формулу этого карбоната (приведите два ответа).

84. В некотором образце кислой аммонийной соли ортофосфорной кислоты находится $3{,}612 \cdot 10^{22}$ атомов кислорода и $8{,}127 \cdot 10^{22}$ атомов водорода. Напишите формулу этой соли.

85. В 0,250 моль дигидрата ацетата металла IIA-группы содержится $1{,}535 \cdot 10^{25}$ электронов. Установите, какой металл входит в состав кристаллогидрата.

86. В смеси, в которой количества веществ хлорида натрия и кристаллогидрата бромида натрия равны, массовая доля поваренной соли составляет 29,6%. Установите состав кристаллогидрата бромида натрия.

87. Чтобы получить смесь оксида хрома (III) и кристаллогидрата сульфата хрома (III) с равными массовыми долями этих двух соединений, пришлось взять количество вещества оксида в 4,71 раза больше количества вещества кристаллогидрата. Установите состав кристаллогидрата.

88. В образце иодида кальция общее число атомов меньше, чем в 1,00 г хлорида натрия, но больше, чем в 1,00 г бромида алюминия. Вычислите область допустимых значений массы образца иодида кальция.

89. В смеси фторида и хлорида одного и того же металла, имеющего в этих соединениях степень окисления +3, массовая доля металла равна 0,250. Вычислите массовую долю фторид-иона в смеси.

90. Калий образует с кислородом четыре соединения: оксид K_2O, пероксид K_2O_2, надпероксид KO_2 и озонид KO_3. О наличии какого из этих соединений можно достоверно судить в смеси, состоящей из нескольких соединений калия с кислородом, если: а) массовая доля кислорода в этой смеси равна 20%; б) массовая доля калия равна 50%?

1.2. ГАЗЫ

Газовое агрегатное состояние характеризуется свободным движением молекул, так как их кинетическая энергия значительно превосходит потенциальную энергию их взаимодействия друг с другом. Газы вследствие этого стремятся занять весь представляемый им объем. В химии широко применяется *закон Авогадро*: в равных объемах разных газов при одинаковых условиях содержится одинаковое число молекул. Следствием этого закона является то, что 1 моль каждого газа занимает при одинаковых условиях одинаковый объем, который называется *молярным объемом* V_m. При нормальных условиях (273 К, 101 кПа) $V_m = 22{,}4$ л/моль. Количество вещества газа и плотность газа (наиболее употребительная единица измерения ρ — г/л) рассчитывают по формулам:

$$\nu(X) = \frac{V(X)}{V_m}; \quad \rho(X) = \frac{M(X)}{V_m}.$$

Если измерения объема газа проводились при условиях, отличающихся от нормальных, можно воспользоваться уравнением Менделеева — Клапейрона:

$$pV = \nu RT,$$

где p — давление, Па; V — объем газа, м^3; T — температура, К; R — универсальная газовая постоянная, равная 8,31 Дж/(моль·К). Допускается одновременная подстановка величины давления в кПа и объема в л. Плотность газа зависит от условий (p, T), при которых она определялась. Относительная плотность одного газа по другому от условий не зависит и рассчитывается по отношению молярных масс газов. Например, для относительной плотности кислорода по водороду: $D(O_2)_{\text{водород}} = M(O_2) : M(H_2) = 32 : 2 = 16$.

Газы смешиваются в любых отношениях друг с другом, образуя газовые растворы. Количественно состав такого раствора можно охарактеризовать с помощью массовой доли ω, а также объемной φ или молярной доли x:

$$\varphi(X) = \frac{V(X)}{V_{\text{сумм}}}; \quad x(X) = \frac{\nu(X)}{\nu_{\text{сумм}}}.$$

Для газов $\varphi(X) = x(X)$, что следует из закона Авогадро. В большинстве задач, если специально не оговорено, условно считается, что воздух состоит только из азота ($\varphi = 0{,}79$) и кислорода ($\varphi = 0{,}21$). Газовые смеси часто характеризуют с помощью средней (точнее, средневзвешенной) молярной массы $M_{\text{ср}}$:

$$M_{\text{ср}} = M_1\varphi_1 + M_2\varphi_2 + \ldots + M_n\varphi_n,$$

где M_1, M_2, M_n — молярные массы газов, находящихся в растворе; φ_1, φ_2, φ_n — объемные доли газов. Средняя молярная масса воздуха принимается равной 29.

Пример 6. В смеси оксида азота (I) и оксида азота (II) число молекул в 2,8 раза меньше числа атомов. Вычислите объемные доли газов в смеси.

Решение. Пусть $\nu(N_2O) = x$ (моль); $\nu(NO) = y$ (моль). Тогда количество вещества всех атомов равно $3x + 2y$. Поскольку количества веществ атомов и молекул пропорционально числу атомов и молекул, будет справедливо соотношение:

$$\frac{3x + 2y}{x + y} = 2{,}8.$$

Преобразуя полученное выражение, получаем $x = 4y$.

Вычислим объемную долю оксида азота (I):

$$\varphi(N_2O) = \frac{\nu(N_2O)}{\nu(N_2O) + \nu(NO)}; \quad \varphi(N_2O) = \frac{4y}{4y + y} = 0{,}8.$$

Таким образом, $\varphi(N_2O) = 80\%$; $\varphi(NO) = 100 - 80 = 20\%$.

Пример 7. Смешали 9 объемов гелия и 1 объем азота. Как и во сколько раз изменится плотность смеси этих газов, если увеличить объемную долю азота в 9 раз (давление и температура не изменялись)?

Решение. Пусть $V(N_2)=V$; тогда $V(He)=9V$. Вычислим объемные доли газов в исходной смеси φ_1 по формуле

$$\varphi(X)=V(X):V\ (\text{смеси});\ \varphi(N_2)_1=V:(V+9V)=0{,}1;\ \varphi(He)_1=1-0{,}1=0{,}9.$$

Воспользуемся формулой для расчета средней молярной массы газовой смеси:

$$M_{ср1}=M(N_2)\varphi(N_2)+M(He)\varphi(He);\qquad M_{ср1}=28\cdot 0{,}1+4\cdot 0{,}9=6{,}4\ \text{г/моль}.$$

При увеличении объемной доли одного из компонентов бинарной газовой смеси объемная доля второго компонента уменьшится:

$$\varphi(N_2)_2=0{,}1\cdot 9=0{,}9;\ \varphi(He)_2=1-0{,}9=0{,}1.$$

Аналогично предыдущему рассчитаем среднюю молярную массу смеси $M_{ср2}$ после изменения объемной доли азота:

$$M_{ср2}=28\cdot 0{,}9+4\cdot 0{,}1=25{,}6\ \text{г/моль}.$$

Найдем отношение молярных масс:

$$M_{ср2}/M_{ср1}=25{,}6:6{,}4=4.$$

Это значение численно совпадает с отношением плотностей, так как давление и температура, при которой находились обе смеси, были одинаковы.

Таким образом, плотность смеси увеличится в 4 раза.

Пример 8. Вычислите объемные доли оксидов углерода в смеси, в 1,68 л (н. у.) которой находится $8{,}73\cdot 10^{23}$ электронов.

Решение. Пусть $\nu(CO)=x$ (моль); $\nu(CO_2)=y$ (моль). В 1 молекуле CO содержится 14 электронов; в 1 молекуле CO_2 — 22 электрона.

Найдем суммарное количество вещества газов по формуле

$$\nu(X)=V(X):V_M;\ \nu(CO+CO_2)=1{,}68:22{,}4=0{,}075\ \text{моль}.$$

По формуле $\nu(X)=n(X):N_A$ найдем количество вещества электронов в этой смеси:

$$\nu(\bar{e})=8{,}73\cdot 10^{23}:6{,}02\cdot 10^{23}=1{,}45\ \text{моль}.$$

Составим систему уравнений:

$$\begin{cases} x+y=0{,}075 \\ 14x+22y=1{,}45;\ \text{откуда}\ x=0{,}025;\ y=0{,}05. \end{cases}$$

Теперь рассчитаем объемную долю оксида углерода (II) в смеси:

$$\varphi(CO)=V(CO):V(CO+CO_2);\ \varphi(CO)=0{,}025:(0{,}025+0{,}05)=0{,}333;$$

тогда

$$\varphi(CO_2)=1-0{,}333=0{,}667,$$

т. е. $\varphi(CO)=33{,}3\%$; $\varphi(CO_2)=66{,}7\%$.

Пример 9. Вычислите массовую долю более тяжелого газа в смеси, состоящей из хлороводорода и бромоводорода и имеющей плотность 3,139 г/л при давлении 110 кПа и температуре −20 °С.

Решение. Подставляя в уравнение Менделеева — Клапейрона вместо массы и объема плотность, получаем выражение, по которому рассчитываем среднюю молярную массу смеси:

$$M_{ср} = \frac{\rho RT}{p};\ M_{ср} = \frac{3{,}139 \cdot 8{,}31 \cdot 253}{110} = 60 \text{ г/моль}.$$

Более тяжелым газом является бромоводород. Примем, что $\varphi(HBr) = x$; тогда, используя формулу для расчета средней молярной массы газовой смеси, составим уравнение:

$$M_{ср} = M(HBr)\,\varphi(HBr) + M(HCl)\,\varphi(HCl);\quad 60 = 81x + 36{,}5\,(1-x).$$

Решая уравнение, получаем $x = 0{,}5281$.

Для расчета массовой доли воспользуемся следующей формулой:

$$\omega(HBr) = \varphi(HBr) \cdot M(HBr) : M_{ср},\ \omega(HBr) = 81 \cdot 0{,}5281 : 60 = 0{,}713,$$

т. е. массовая доля более тяжелого газа равна 71,3%.

Пример 10. Сколько атомов углерода содержится в 2 моль газообразной смеси метана и этиламина, имеющей одинаковую плотность с формальдегидом?

Решение. Средняя молярная масса смеси метана и этиламина должна совпадать с молярной массой формальдегида ($M = 30$ г/моль). Пусть $\nu(CH_4) = x$; тогда $\nu(C_2H_5NH_2) = 2 - x$.

Используя формулу для расчета средней молярной массы газовой смеси, составим уравнение:

$$\frac{M(CH_4)\nu(CH_4) + M(C_2H_5NH_2)\nu(C_2H_5NH_2)}{\nu(CH_4) + \nu(C_2H_5NH_2)} = M_{ср};\quad \frac{16x + 45(2-x)}{2} = 30.$$

Решая уравнение, получаем $x = 1{,}034$, т. е. $\nu(\text{С в } CH_4) = 1{,}034$ моль. Тогда

$$\nu(C_2H_5NH_2) = 2 - 1{,}034 = 0{,}966 \text{ моль};$$

$$\nu(\text{С в } C_2H_5NH_2) = 2 \cdot 0{,}966 = 1{,}932 \text{ моль};$$

$$\nu(C)_{всего} = 1{,}034 + 1{,}932 = 2{,}966 \text{ моль};$$

$$n(C)_{всего} = 2{,}966 \cdot 6{,}02 \cdot 10^{23} = 1{,}79 \cdot 10^{24} \text{ (атомов)}.$$

Пример 11. Смесь метана с этиленом и смесь ацетилена с пропаном имеют при одинаковых условиях одинаковую плотность. Вычислите область допустимых значений для объемной доли метана в первой смеси.

Решение. Средняя молярная масса двухкомпонентной системы имеет значение в интервале между значениями усредняемых величин.

Таким образом, для смеси метана CH_4 и этилена C_2H_4 можно записать $16 < M_{ср1} < 28$; а для смеси ацетилена C_2H_2 и пропана C_3H_8 — $26 < M_{ср2} < 44$.

Если обе смеси имеют одинаковую плотность, то у них должны совпадать значения средних молярных масс. Это возможно только при условии $26 < M_{ср1} < 28$.

Приравняем среднюю молярную массу верхней границе интервала: $M_{ср1}=28$, тогда $\varphi(CH_4)=0$. Если за значение средней молярной массы взять нижнюю границу интервала $M_{ср1}=26$ и обозначить $\varphi(CH_4)=x$, то из уравнения

$$16x+28(1-x)=26$$

получим $x=0{,}167$.

Таким образом, объемная доля метана попадает в область значений от 0 до 16,7%.

Пример 12. Какой из двух оксидов углерода находится в смеси с кислородом, если известно, что при нормальном атмосферном давлении и 50 °С ее плотность равна 1,129 г/л?

Решение. Для смеси CO и O_2 средняя молярная масса обязательно меньше 32 г/моль, а для смеси CO_2 и O_2 больше 32 г/моль.

Воспользовавшись преобразованной формой уравнения Менделеева — Клапейрона, получаем:

$$M=\frac{\rho RT}{p};\ M=\frac{1{,}129\cdot 8{,}31\cdot 323}{101}=30\ \text{г/моль}.$$

Средняя молярная масса смеси оказалась меньше 32, следовательно, в смеси находится оксид углерода (II).

ЗАДАЧИ

91. Что имеет большую массу — 1 л аргона или 1 л хлора (объемы измерены при одинаковых условиях)?

92. В каком объеме оксида азота (IV) содержится столько же атомов, сколько и в 1 л криптона (объемы измерены при одинаковых условиях)?

93. В каком объеме оксида азота (II) содержится столько же электронов, сколько и в 1 л водорода (объемы измерены при одинаковых условиях)?

94. Вычислите число молекул: а) в 5,6 м^3 метана при нормальных условиях; б) в 5,6 кг метана.

95. Какую плотность (г/л) имеют при нормальных условиях: а) неон; б) иодоводород?

96. При нормальных условиях один из газов, являющийся простым веществом, имеет плотность 1,696 г/л. Какой это газ?

97. В 5,60 л газа (н. у.), являющегося простым веществом, находится $3{,}612\cdot 10^{24}$ электронов. Установите, какой это газ.

98. Сероводород и кислород находятся каждый под давлением 96 кПа. Один из газов находится при температуре 20 °С. При какой температуре находится другой газ, если известно что одинаковые объемы этих газов в этом случае имеют одинаковые массы?

99. Хлороводород и аргон находятся каждый при температуре −10 °С; один из газов — под давлением 101 кПа. При каком давлении находится другой газ, если известно, что одинаковые массы этих газов в этом случае имеют одинаковые объемы?

100. Газообразный оксид серы при 60 °С и 90 кПа имеет плотность 2,08 г/л. Установите формулу этого оксида.

101. Плотность оксида углерода при –18 °С равна плотности этана при 0 °С (давление одинаковое). Установите формулу оксида углерода.

102. Плотность оксида углерода при 91,8 кПа равна плотности пропина C_3H_4 при 101 кПа (температура одинаковая). Установите формулу оксида углерода.

103. Вычислите среднюю молярную массу газовой смеси, состоящей из метана и кислорода (объемная доля кислорода 60,0%).

104. Вычислите относительную плотность по азоту смеси фтороводорода, хлороводорода, азота и гелия, в которой объемные доли газов равны.

105. Для кислородно-неоновой смеси, в которой объемная доля неона в 3 раза меньше объемной доли кислорода, рассчитайте относительную плотность: а) по воздуху; б) по водороду.

106. Относительная плотность некоторого газа по воздуху равна 1,571. Вычислите плотность этого газа по неону.

107. Вычислите объемные доли газов в кислородно-гелиевой смеси с плотностью по водороду, равной 15.

108. Вычислите массовые доли газов в смеси углекислого газа и хлороводорода с плотностью по воздуху, равной 1,38.

109. В смеси двух оксидов углерода на 5 атомов углерода приходится 7 атомов кислорода. Вычислите объемную долю более тяжелого оксида в этой смеси.

110. Смешали равные массы двух оксидов углерода. Какова объемная доля каждого вещества в этой смеси?

111. Вычислите объем сероводорода, который надо добавить к 2,70 л углекислого газа (н. у.), чтобы средняя молярная масса газовой смеси стала равной 37,0 г/моль.

112. В смеси простых газообразных веществ содержится одинаковое число атомов азота, гелия и кислорода. Вычислите массу этой смеси, имеющей объем 5,00 л при н. у.

113. В смеси простых газообразных веществ число атомов хлора в 2 раза меньше числа атомов кислорода и в 3 раза больше числа атомов криптона. Какой объем при н. у. занимают 5,00 г этой смеси?

114. Вычислите объем углекислого газа, который добавили к 5,60 л оксида углерода (II) (н. у.), если известно, что число электронов в полученной смеси стало в 14,5 раза больше числа Авогадро.

115. В некоторых объемах углекислого газа и метана при одинаковых условиях содержится одинаковое число электронов.

Чему будет равна плотность по гелию газовой смеси, полученной смешением этих объемов?

116. К 20,0 мл оксида серы (IV) добавили 30,0 мл оксида углерода (IV) (50 °С, 98 кПа). Во сколько раз число электронов в этой смеси будет меньше числа Авогадро?

117. В некоторых объемах бутина C_4H_6 и метана содержится одинаковое число электронов. Чему будет равна плотность газовой смеси, полученной смешением этих объемов (50 °С, 98 кПа)?

118. Вычислите объемные доли неона и оксида азота (IV) в смеси, в 0,896 л (н. у.) которой находится $3{,}19 \cdot 10^{23}$ электронов.

119. Вычислите массовые доли азота и аммиака в смеси, в 1,344 л (н. у.) которой находится $4{,}09 \cdot 10^{23}$ электронов.

120. Вычислите массу смеси неона и оксида азота (IV) общим объемом 0,896 л (н. у.), если известно, что в ней находится $3{,}19 \cdot 10^{23}$ электронов.

121. Какой из галогеноводородов находится в смеси с азотом, если известно, что при нормальном давлении и 70 °С ее плотность равна 0,8859 г/л?

122. Какой из благородных газов находится в смеси с аммиаком, если известно, что при нормальном давлении и 80 °С ее плотность равна 0,5165 г/л?

123. Объемная доля сероводорода в его смеси с одним из галогеноводородов равна 0,200, а массовая доля водорода равна 1,676%. Какой из галогеноводородов находился в смеси?

124. Вычислите массовую долю более легкого газа в смеси, состоящей из водорода и аммиака и имеющей плотность 0,832 г/л при давлении 120 кПа и температуре −30,0 °С.

125. Вычислите массовую долю более тяжелого газа в смеси, состоящей из аммиака и азота и имеющей плотность 1,029 г/л при давлении 90,0 кПа и температуре −10,0 °С.

126. Смесь неона с хлороводородом и смесь сероводорода с пропаном имеют при одинаковых условиях одинаковую плотность. Вычислите область допустимых значений для объемной доли неона в первой смеси.

127. Смесь аммиака с кислородом и смесь оксида азота (II) с оксидом азота (IV) имеют при одинаковых условиях одинаковую плотность. Вычислите область допустимых значений для массовой доли аммиака в первой смеси.

128. Смесь азота с кислородом и смесь хлороводорода с фтороводородом имеют одинаковую среднюю относительную молекулярную массу. Вычислите для второй смеси область допустимых значений: а) объемной доли фтороводорода; б) массовой доли хлороводорода; в) плотности (г/л; нормальное давление, 25 °С).

129. Смешали 1 объем дейтерия и 99 объемов неона. Как и во сколько раз изменится плотность смеси этих газов, если увели-

чить объемную долю дейтерия в 15 раз (давление и температура не изменялись)?

130. В смеси аммиака и азота число атомов в 3,4 раза больше числа молекул. Вычислите относительную плотность этой газовой смеси по воздуху.

131. В смеси метана и углекислого газов число атомов в 5 раз меньше числа электронов. Вычислите объемные доли газов в этой смеси.

132. В смеси оксида серы (IV) и углекислого газа число протонов в 24 раза больше числа молекул. Вычислите плотность этой смеси при нормальных условиях.

133. Имеются две смеси одинаковых газов, один из которых является сложным веществом. В каждой из смесей объемная доля одного из компонентов равна 0,1. Относительная плотность по водороду одной смеси равна 9,2, а другой — 2,8. Установите, какие газы входили в состав смесей.

134. Смесь двух газов с равными объемными долями имеет относительную плотность по воздуху, равную 1,00. Если в смеси этих газов уменьшить объемную долю одного из компонентов в 5 раз, плотность по воздуху увеличится в 1,745 раза. Как и во сколько раз (по сравнению с исходной) изменится плотность по воздуху смеси, если в ней уменьшить в 5 раз объемную долю другого компонента?

135. Смесь двух газов, в которой объемная доля одного из компонентов равна 25,0%, имеет относительную плотность по водороду, равную 14,0. При увеличении объемной доли одного из газов в 3 раза плотность смеси по водороду уменьшилась на 28,57%. Какие газы входили в состав смеси, если известно, что один из них является простым веществом?

136. Смесь двух газообразных оксидов, в которой объемная доля одного из компонентов равна 10,0%, имеет среднюю молярную массу 29,6 г/моль. При увеличении объемной доли одного из газов в 9 раз средняя молярная масса увеличилась на 43,24%. Установите, какие газы входили в состав смеси.

1.3. СПОСОБЫ ВЫРАЖЕНИЯ СОСТАВА РАСТВОРОВ

Количественный состав растворов выражают чаще всего с помощью массовой доли, молярной концентрации и массовой концентрации.

Молярная концентрация c(X) — отношение количества вещества формульных единиц растворенного вещества к объему раствора; единица измерения — моль на литр (моль/л).

Массовая доля ω(X) показывает отношение массы растворенного вещества к массе раствора.

Массовая концентрация γ (X) показывает массу растворенного вещества в единице объема раствора; единицы измерения г/л; г/мл; мг/л и др. Следовательно, можно записать:

$$c(X)=\frac{\nu(X)}{V_{\text{раствора}}};\quad \omega(X)=\frac{m(X)}{m_{\text{раствора}}};\quad \gamma(X)=\frac{m(X)}{V_{\text{раствора}}}.$$

Для характеристики насыщенных растворов используют наряду с указанными величинами *коэффициент растворимости.* Для твердых веществ коэффициент растворимости обычно показывает массу вещества, растворяющегося в 100 г растворителя. Растворимость газов, как правило, показывают соотношением объемов газа и растворителя.

Плотности очень разбавленных растворов можно считать равными плотности воды, которая условно принимается за 1 г/мл во всем температурном интервале существования жидкой воды.

Пример 13. Какую массу дигидрата дигидрофосфата натрия можно получить из 8,00 мл 8,00%-го раствора дигидрофосфата натрия (пл. 1,06 г/мл)?

Решение. Рассчитаем количество вещества NaH_2PO_4, находящегося в растворе:

$$\nu(NaH_2PO_4)=\frac{V(\text{р-р})\rho\omega}{M(NaH_2PO_4)};$$

$$\nu(NaH_2PO_4)=\frac{8{,}00\cdot 1{,}06\cdot 0{,}08}{120}=0{,}005653 \text{ моль}.$$

Поскольку $\nu(NaH_2PO_4\cdot 2H_2O)=\nu(NaH_2PO_4)$, можно рассчитать массу кристаллогидрата:

$$m(NaH_2PO_4\cdot 2H_2O)=M(NaH_2PO_4\cdot 2H_2O)\nu(NaH_2PO_4\cdot 2H_2O);$$

$$m(NaH_2PO_4\cdot 2H_2O)=156\cdot 0{,}005653=0{,}882 \text{ г},$$

т. е. можно получить 0,882 г дигидрата дигидрофосфата натрия.

Пример 14. Сколько атомов водорода приходится на 1 атом фосфора в 14,0%-м растворе дигидрофосфата калия?

Решение. Примем, что масса раствора равна m (г). Тогда $m(KH_2PO_4)=0{,}14m$; $m(H_2O)=0{,}86m$. Выразим через m количества веществ соли и воды: $\nu(KH_2PO_4)=0{,}14m:136=0{,}001029m$; $\nu(H_2O)=0{,}86m:18=0{,}04778m$.

Количество вещества атомов фосфора равно количеству вещества соли, т. е. $\nu(P)=0{,}001029m$.

Количество вещества атомов водорода равно удвоенной сумме количеств веществ воды и соли, так как в формульных единицах обоих веществ содержится по два атома водорода:

$$\nu(H)=2(0{,}001029m+0{,}04778m)=0{,}09762m.$$

Соотношение количеств веществ будет равно соотношению чисел атомов:

$$\frac{\nu(\mathrm{H})}{\nu(\mathrm{P})}=\frac{0{,}09762m}{0{,}001029m}=95,$$

таким образом, в данном растворе на один атом фосфора приходится 95 атомов водорода.

Пример 15. Раствор массой 700 г некоторой соли, массовая доля которой равна 5,00%, находился в открытом сосуде. В результате испарения воды и кристаллизации соли масса раствора уменьшилась на 250 г, а массовая доля соли не изменилась. Вычислите массу испарившейся воды.

Решение. Найдем массу соли, находящейся в растворе:

$$m(\text{соли})=0{,}05\cdot 700=35\text{ г}.$$

Масса получившегося раствора стала равна

$$m(\text{р-р})_{\text{итог}}=700-250=450\text{ г}.$$

Примем, что масса выкристаллизовавшейся соли равна x (г). Тогда для конечного состояния будет справедливо:

$$\frac{35-x}{450}=0{,}05,\text{ откуда }x=12{,}5.$$

Следовательно, масса испарившейся воды равна

$$m(\mathrm{H_2O})=250-12{,}5=237{,}5\text{ г}.$$

ЗАДАЧИ

Массовая доля

137. Какую массу соли следует растворить в 100 г воды для получения 15,0%-го раствора?

138. Необходимо приготовить 100 мл 10,0%-го раствора нитрита калия (пл. 1,062 г/мл). Какую массу соли и воды нужно взять для этого?

139. В каком объеме воды следует растворить 25,0 г соли для получения 12,5%-го раствора?

140. Какое количество вещества сульфата натрия надо растворить в 18,0 моль воды для получения 8,00%-го раствора?

141. К 150 г 8,00%-го раствора соли добавили 10,0 г этой же соли. Вычислите массовую долю соли в полученном растворе.

142. К 250 г 12,0%-го раствора соли добавили 100 г воды. Вычислите массовую долю соли в новом растворе.

143. Из 0,250 кг 5,00%-го раствора соли при охлаждении выпало 4,55 г соли. Вычислите массовую долю соли в полученном растворе.

144. Из 1,50 кг 2,00%-го раствора соли выпарили 700 г воды. Вычислите массовую долю соли в полученном растворе.

145. Растворимость перманганата калия при 20 °С составляет 6,4 г соли на 100 г воды. Вычислите массовую долю перманганата калия в его насыщенном растворе при этой температуре.

146. Растворимость хлората калия (бертолетовой соли $KClO_3$) при 10 °С составляет 40,8 ммоль соли на 100 г воды. Вычислите массовую долю хлората калия в его насыщенном растворе при этой температуре.

147. В 100 мл воды при комнатной температуре растворяется 0,626 моль нитрата цинка. Вычислите массовую долю соли в растворе, полученном смешением насыщенного раствора этой соли и воды в соотношении по массе 3 : 2.

148. Массовая доля сульфата калия в насыщенном при 10 °С растворе равна 8,44%. Вычислите растворимость этой соли в 100 г воды.

149. Массовая доля нитрата бария в насыщенном растворе при 20 °С равна 8,42%. Какое количество вещества нитрата бария растворяется при этой температуре в 1,00 моль воды?

150. Вычислите количество вещества сульфата цинка и количество вещества глицерина, необходимые для приготовления 50,0 г насыщенного глицеринового раствора сульфата цинка (растворимость соли при 20 °С равна 35,0 г на 100 г растворителя).

151. Растворимость иодида калия (на 100 г растворителя) при 20 °С равна: в метаноле 16,4 г; в воде 144 г. Как относятся между собой массы насыщенного метанольного и насыщенного водного растворов, содержащих одинаковую массу растворенной соли?

152. Растворимость бромида магния (на 100 г растворителя) при 20 °С равна: в метаноле 27,9 г; в этаноле 15,1 г. Минимальная масса этанола, которая необходима для растворения некоторой порции соли, равна 5,00 г. Какая минимальная масса метанола потребуется для растворения такой же порции бромида магния?

153. Растворимость иодида калия (на 100 г растворителя) при 20 °С равна: в этиленгликоле 50,0 г; в метаноле 16,0 г. Какую массу насыщенного метанольного раствора можно получить из иодида калия, полученного выпариванием 75,0 г насыщенного раствора этой соли в этиленгликоле?

154. В 10,0 моль воды растворили 0,05 моль карбоната натрия и 0,100 моль гидроксида натрия. Вычислите массовые доли всех веществ в полученном растворе.

155. Сколько атомов кислорода приходится на 1 атом калия в 40,0%-м растворе хромата калия?

156. Смешали 300 г 40%-го и 700 г 10%-го растворов серной кислоты. Вычислите массовую долю кислоты в полученном растворе.

157. Раствор азотной кислоты массой 250 г с массовой долей кислоты, равной 0,12, смешали с раствором серной кислоты,

массой 350 г и с массовой долей, равной 0,35. Чему равны массовые доли веществ в образовавшемся растворе?

158. Смешали равные массы растворов сульфата натрия и фосфорной кислоты. В полученном растворе массовые доли соли и кислоты стали равны соответственно 3,14 и 2,72%. Вычислите массовые доли веществ в исходных растворах.

159. К 100 г 6,00%-го раствора азотной кислоты добавили раствор серной кислоты, в результате чего в полученном растворе массовые доли азотной и серной кислот стали равны соответственно 5,00 и 2,50%. Вычислите массовую долю серной кислоты в добавленном растворе.

160. Смешали 100 г раствора поваренной соли и 150 г раствора нитрата калия. В полученном растворе массовая доля хлорида натрия стала равна 5,00%, а массовая доля нитрата калия 10,0%. Рассчитайте массовые доли солей в исходных растворах.

161. К 120 г 20%-го раствора бромида бария добавили 5,00%-й раствор уксусной кислоты. Массовая доля кислоты в полученном растворе оказалась равной 3,50%. Вычислите массовую долю соли в этом растворе.

162. К 200 г 15,0%-го раствора хлорида кальция добавили безводный нитрат меди. Массовая доля нитрата меди в полученном растворе оказалась равной 15,0%. Вычислите массовую долю хлорида кальция в полученном растворе.

163. Какую массу иодида кальция следует добавить к 500 мл 12,0%-го раствора (пл. 1,107 г/мл) этой соли для получения 30,0%-го раствора?

164. К 250 г 3,45%-го раствора соли добавили некоторую порцию этой же соли, в результате чего массовая доля увеличилась в 2,5 раза. Вычислите массу добавленной соли.

165. Какую массу воды следует выпарить из 200 мл 10,0%-го раствора бромида хрома (III) с плотностью 1,093 г/мл для получения 24,0%-го раствора этой же соли?

166. Из 0,500 л 18,3%-го раствора гидроксида натрия (пл. 1,20 г/мл) частично выпарили воду. Какое количество вещества воды выпарили, если массовая доля щелочи увеличилась в 1,25 раза?

167. Какую массу 32,0%-го раствора азотной кислоты следует добавить к 500 мл 80,0%-го раствора той же кислоты с плотностью 1,45 г/мл для получения 65,0%-го раствора?

168. К 100 мл 24,0%-го раствора иодида натрия (пл. 1,22 г/мл) добавили раствор муравьиной кислоты, в результате чего в полученном растворе массовые доли соли и кислоты стали равными по 10,0%. Вычислите, какое количество вещества воды приходилось на 1,00 моль муравьиной кислоты в добавленном растворе.

169. Вычислите массовую долю нитрита натрия в водном растворе, если известно, что в 15,0 г такого раствора находится $4{,}816 \cdot 10^{23}$ атомов кислорода.

170. Чему равна массовая доля серной кислоты в растворе, в котором числа атомов водорода и кислорода равны между собой?

171. Какую массу воды нужно добавить к 75,0 г 50,0%-го раствора сульфата аммония, чтобы общее число атомов увеличилось ровно в 2 раза?

172. К 50,0 г раствора бромида аммония добавили 10 г воды, в результате чего общее число атомов в растворе увеличилось на 25,0%. Вычислите массовую долю бромида аммония в исходном растворе.

173. Какую массу воды нужно выпарить из 150 г 4,00%-го раствора бромида магния, чтобы общее число атомов в растворе уменьшилось вдвое?

174. Из 250 г 3,00%-го раствора нитрата аммония выпарили такую массу воды, что общее число атомов в растворе уменьшилось в 3 раза. Рассчитайте массовую долю соли в полученном растворе.

175. Какую массу иодида аммония следует добавить к 300 г 2,00%-го раствора этой соли, чтобы общее число атомов в растворе увеличилось в 1,5 раза?

176. Массовая доля насыщенного раствора хромата аммония при 70 °С равна 40,3%, а при 20 °С — 24,8%. Вычислите массу соли, которая выкристаллизуется из 500 г насыщенного при 70 °С раствора при его охлаждении до 20 °С.

177. Растворимость сульфата лития при 10 °С равна 35,0 г соли на 100 г воды, а при 80 °С 30,7 г соли на 100 г воды. Какая масса соли выкристаллизуется при нагревании до 80 °С 2,05 кг насыщенного при 10 °С раствора?

178. Растворимость карбоната лития при 0 °С равна 0,0208 моль соли на 100 г воды, а при 80 °С 0,0115 моль соли на 100 г воды. Какая масса соли выкристаллизуется при нагревании до 80 °С 500 г насыщенного при 0 °С раствора?

179. Насыщенный при 0 °С раствор сульфата калия массой 100 г находится в равновесии с большой массой твердого сульфата калия. На сколько граммов увеличится масса раствора при нагревании его до 50 °С? В 100 г воды растворимость сульфата калия равна: при 0 °С 7,35 г, при 50 °С 16,6 г.

180. Растворимость иодида кальция при 10 °С равна 0,661 моль соли на 100 г воды, а при 80 °С — 1,21 моль соли на 100 г воды. Какая масса соли выкристаллизуется при охлаждении до 10 °С 750 г насыщенного при 80 °С раствора?

181. Растворимость сульфата натрия в граммах на 100 г воды равна: при 30 °С — 40,8 г; при 40 °С — 48,8 г; при 90 °С — 42,9 г.

Какое количество вещества сульфата натрия можно дополнительно растворить в 120 г 10,0%-го раствора этой соли при 30, 40 и 90 °С?

182. При 90 °С в 100 г воды растворяется 60 г соли. При охлаждении 450 г раствора, насыщенного при 90 °С, до 20 °С из раствора выкристаллизовалось 68,75 г соли. Какая масса соли растворяется в 100 г воды при 20 °С?

183. В 100 г воды при 0 °С растворяется 127 г бромида марганца. Массовая доля этой соли в насыщенном при 40 °С растворе равна 62,8%. Насыщенный при 0 °С раствор массой 250 г нагрели до 40 °С. Какую массу бромида марганца можно дополнительно растворить в этом растворе?

184. Растворимость иодида калия в 100 г воды составляет: при 10 °С — 136 г; при 30 °С — 152 г; при 80 °С — 192 г. Смешали 300 г насыщенного при 10 °С раствора и 50 г насыщенного при 80 °С раствора этой соли. Вычислите, какая масса соли дополнительно растворится после установления в растворе температуры, равной 30 °С.

185. Растворимость хромата калия K_2CrO_4 в 100 г воды составляет: при 0 °С — 0,300 моль; при 20 °С — 0,317 моль; при 60 °С — 0,354 моль. Смешали 50 г насыщенного при 0 °С раствора и 100 г насыщенного при 60 °С раствора этой соли. Вычислите, какое количество вещества соли выпадет в осадок после установления в растворе температуры, равной 20 °С.

186. Смесь равных количеств веществ карбоната аммония и гидрокарбоната аммония растворили в холодной воде. Масса раствора оказалась больше массы исходной смеси солей в 5 раз. Вычислите, сколько атомов водорода приходится в этом растворе на 1 атом азота.

Массовая концентрация

187. Дихромат калия массой 7,35 г растворили в 100 г воды, при этом получился раствор с плотностью 1,047 г/мл. Вычислите массовую концентрацию (г/мл) ионов калия в этом растворе.

188. Концентрация Fe^{3+} в растворе сульфата железа (III) равна 150 г/л. Вычислите массовую концентрацию (г/л) сульфат-ионов в этом растворе.

189. Растворимость перманганата калия при 20 °С равна 6,40 г в 100 г воды; плотность насыщенного раствора равна 1,041 г/мл. Вычислите массовую концентрацию (г/л) ионов калия в насыщенном растворе перманганата калия.

190. Какую массу хлорида алюминия следует растворить в 150 г воды, чтобы получить раствор с концентрацией хлорид-ионов 87,0 г/л (пл. 1,09 г/мл)?

191. В каждом литре раствора, содержащего смесь нитрата алюминия и нитрата кальция, масса нитрат-ионов равна 322 г, а масса ионов алюминия 32,2 г. Какая масса ионов кальция находится в 1,00 мл этого раствора?

192. Массовая концентрация бромид-ионов в растворе, содержащем смесь бромида калия и бромида кальция, равна 430 г/л. Раствор объемом 93,0 мл выпарили и остаток прокалили до постоянной массы, которая составила 51,9 г. Вычислите массовые доли солей в исходной смеси солей.

193. Массовая концентрация иодид-ионов в растворе, содержащем смесь иодида калия и иодида кальция, 0,337 г/мл. При выпаривании 113 мл раствора был получен сухой остаток массой 47,9 г. Сухой остаток затем полностью растворили в воде, объем полученного раствора оказался равным 500 мл. Вычислите молярную концентрацию ионов кальция в полученном растворе.

194. В каждом литре раствора, содержащего смесь бромида калия и сульфата калия, масса ионов калия равна 50,0 г. При выпаривании 125 мл раствора был получен сухой остаток, который впоследствии растворили в воде, причем объем полученного раствора составил 1,00 л. Вычислите массовую концентрацию (г/л) ионов калия в новом растворе.

Молярная концентрация

195. В 150 мл раствора находится 150 мг гидроксида кальция. Вычислите молярную концентрацию раствора щелочи.

196. Необходимо приготовить 300 мл раствора, в котором молярная концентрация сульфат-ионов равна 0,500 моль/л. Какую массу сульфата алюминия необходимо взять для этого?

197. Вычислите молярную концентрацию 40,0%-го раствора серной кислоты (пл. 1,30 г/мл).

198. Вычислите массовую долю гидрокарбоната натрия в растворе, имеющем концентрацию этой соли 0,616 моль/л (пл. 1,035 г/мл).

199. Массовая доля серной кислоты в ее растворе с концентрацией 9,303 моль/л равна 60,62%. Какой объем занимают 100 г такого раствора?

200. Массовая доля фосфорной кислоты в ее растворе с концентрацией 17,0 моль/л равна 93,37%. Какую массу имеют 100 мл такого раствора?

201. Сколько атомов водорода приходится на 1 атом калия в растворе гидрокарбоната калия с молярной концентрацией 1,067 моль/л (пл. 1,067 г/мл)?

202. В растворе сульфита калия, имеющем плотность 1,22 г/мл, на один атом калия приходится 15 атомов кислорода. Вычислите молярную концентрацию соли в этом растворе.

203. К 150 г 20,0%-го раствора гидроксида натрия добавили 31,8 г гидроксида натрия, плотность полученного раствора оказалась равной 1,37 г/мл. Вычислите молярную концентрацию полученного раствора.

204. В каком соотношении по массе следует смешать гептагидрат сульфата железа (II) и сульфат калия, чтобы при растворении этой смеси в достаточном объеме воды получился раствор с равными молярными концентрациями ионов железа и калия?

205. Смешали 150 г 8,00%-го раствора гидросульфата натрия (пл. 1,06 г/мл) и 150 мл раствора с концентрацией этой же соли, равной 1,93 моль/л. Вычислите молярную концентрацию соли в получившемся растворе.

206. Смешали 2,30 кг 12,0%-го раствора нитрата калия и 2,30 л раствора с концентрацией этой же соли, равной 2,24 моль/л (пл. 1,133 г/мл). Вычислите массовые доли веществ в растворе.

207. К насыщенному раствору карбоната натрия (растворимость 21,5 г в 100 г воды) добавили раствор того же вещества с концентрацией 0,960 моль/л (пл. 1,095 г/мл). В каком диапазоне может находиться значение массовой доли карбоната натрия в получившемся растворе?

208. Какой объем раствора уксусной кислоты с концентрацией 1,98 моль/л (пл. 1,015 г/мл) был добавлен к 10,0 мл 40,2%-го раствора того же вещества (пл. 1,05 г/мл), если при этом получился 27,2%-й раствор (пл. 1,035 г/мл)?

209. Какая масса 4,00%-го раствора фосфорной кислоты (пл. 1,02 г/мл) была добавлена к 50,0 г раствора того же вещества с молярной концентрацией 3,00 моль/л (пл. 1,15 г/мл), если при этом получился раствор с молярной концентрацией 1,01 моль/л?

210. В каком соотношении по объему смешали 4,20%-й раствор гидроксида натрия (пл. 1,045 г/мл) и раствор того же вещества с концентрацией 6,12 моль/л (пл. 1,22 г/мл), если при этом получился 10,1%-й раствор?

211. В каком соотношении по объему смешали 21,38%-й раствор гидроксида калия (пл. 1,20 г/мл) и раствор того же вещества с концентрацией 0,744 моль/л, если при этом получился раствор с концентрацией 3,82 моль/л?

212. Нитрат щелочного металла массой 20,7 г растворили в воде, объем раствора довели до 500 мл. В полученном растворе концентрация нитрат-ионов оказалась равной 0,6 моль/л. Установите, какой нитрат растворили в воде.

213. Сульфат металла (катион имеет заряд +2) массой 32,2 г растворили в воде, объем раствора довели до 250 мл. В полученном растворе концентрация сульфат-ионов оказалась равной 0,800 моль/л. Установите, какой сульфат растворили в воде.

Кристаллогидраты

214. Вычислите массовую долю соли в растворе, полученном смешением 0,04 моль нонагидрата нитрата хрома (III) и 1,00 моль воды.

215. Алюмокалиевые квасцы $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ количеством вещества 10,0 ммоль растворили в 10,0 моль воды. Вычислите массовые доли сульфата калия и сульфата алюминия в образовавшемся растворе.

216. Количество вещества воды, взятой для растворения, было больше количества вещества тетрагидрата фторида калия в 100 раз. Плотность получившегося раствора оказалась равной 1,025 г/мл. Вычислите массовую концентрацию (г/л) фторид-ионов в растворе.

217. Во сколько раз количество вещества воды, взятой для растворения, было больше количества ввещества гексагидрата хлорида железа (III), если в результате получился раствор с плотностью 1,033 г/мл и массовой концентрацией ионов железа 14,5 г/л?

218. В каком молярном соотношении следует смешать пентагидрат сульфата меди и сульфат натрия, чтобы при растворении этой смеси в достаточном объеме воды получился раствор с равными массовыми долями ионов натрия и меди?

219. В каком соотношении по массе следует смешать воду и кристаллогидрат, в котором массовая доля безводной соли равна 63,7%, чтобы получить 20,0%-й раствор?

220. Гептагидрат сульфита натрия массой 2,52 г растворили в 50,0 г воды. К полученному раствору добавили другой раствор, который образовался при растворении 3,22 г декагидрата сульфата натрия в 75,0 г воды. Вычислите массовые доли веществ во вновь образовавшемся растворе.

221. Количество вещества гексагидрата бромида хрома (III) в 90 раз меньше количества вещества воды, взятой для растворения. Плотность получившегося раствора оказалась равной 1,20 г/мл. Вычислите молярную концентрацию соли в этом растворе.

222. Кристаллогидрат фосфата натрия $Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$ количеством вещества 1,00 моль растворили в 75,0 моль воды. Плотность получившегося раствора оказалась равной 1,098 г/мл. Вычислите молярную концентрацию ионов натрия в этом растворе.

223. Смесь равных масс моногидрата гидросульфата натрия и декагидрата сульфата натрия растворили в воде. Масса раствора оказалась больше массы исходной смеси кристаллогидратов в 10 раз. Вычислите, сколько атомов водорода приходится в этом растворе на 100 атомов кислорода.

224. Растворимость дигидрата сульфата кальция при 40 °С равна 0,210 г в 100 г воды. Вычислите массовую долю соли в ее насыщенном растворе при этой температуре.

225. В 300 г раствора фосфата натрия с концентрацией 0,320 моль/л (пл. 1,05 г/мл) растворили 25,0 г кристаллогидрата фосфата натрия (кристаллизуется с 12 молекулами воды). Вычислите массовые доли веществ в получившемся растворе.

226. В 225 г 25,5%-го раствора бромида кальция растворили гексагидрат бромида кальция массой 50,0 г. Вычислите массовые доли веществ в получившемся растворе.

227. Массовая доля безводной соли в кристаллогидрате равна 64,0%. Какую массу кристаллогидрата нужно взять для приготовления 150 г 50,0%-го раствора соли?

228. В каком объеме воды следует растворить 0,300 моль пентагидрата сульфата меди (II) для получения 12,0%-го раствора?

229. В каком количестве вещества воды следует растворить 100 г декагидрата карбоната натрия для получения раствора с массовой долей соли, равной 10,0%?

230. Из какой массы 25,0%-го раствора карбоната натрия выпало при охлаждении 10 г декагидрата, если в результате этого массовая доля соли в растворе уменьшилась в два раза?

231. Из 500 г 15,0%-го раствора сульфита натрия при охлаждении выпало 25,2 г гептагидрата сульфита натрия. Рассчитайте массовую долю соли в полученном растворе.

232. Из 250 г 17,0%-го раствора карбоната натрия при охлаждении выпало 28,6 г декагидрата карбоната натрия. Рассчитайте массовую долю соли в полученном растворе.

233. В 20,0 г 5,00%-го раствора гидроксида натрия растворили 4,00 г тетрагидрата гидроксида натрия, при этом плотность полученного раствора стала равной 1,11 г/мл. Вычислите молярную концентрацию полученного раствора.

234. Какую массу дигидрата фторида калия можно получить из 450 г 25,0%-го раствора фторида калия?

235. Какую массу кристаллогидрата сульфата хрома (III), кристаллизующегося с 18 молекулами воды, можно получить из 80,0 мл раствора с концентрацией сульфата хрома 0,800 моль/л?

236. Какую массу гексагидрата карбоната натрия-калия $KNaCO_3 \cdot 6H_2O$ можно получить из 50,0 мл раствора, в котором концентрация карбоната натрия равна 0,100 моль/л, а карбоната калия — 0,08 моль/л?

237. Какую массу гексагидрата сульфата магния-калия $K_2Mg(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ можно получить из 500 г раствора, в котором массовые доли сульфата магния и сульфата калия равны по 15,0%?

238. Какие массы дигидрата гидроксида калия и этанола следует взять для приготовления 50,0 г 10,0%-го водно-спиртового раствора гидроксида калия?

239. Тетрагидрат гидроксида натрия растворили в 50,0 г метанола, при этом получился 5,00%-й водно-спиртовый раствор щелочи. Вычислите массу безводной щелочи, которую можно получить при выпаривании этого раствора.

240. Растворимость сульфата марганца при 10 °С равна 60,0 г в 100 г воды. Вычислите, какую массу гептагидрата сульфата марганца нужно добавить к 50 г воды для получения насыщенного раствора.

241. Какую массу декагидрата сульфата натрия нужно растворить в 150 мл раствора сульфата натрия с концентрацией 0,218 моль/л (пл. 1,03 г/мл) для получения раствора с концентрацией 0,768 моль/л (пл. 1,09 г/мл)?

242. Какое количество вещества моногидрата сульфата лития нужно растворить в 250 мл раствора сульфата лития с концентрацией 0,572 моль/л (пл. 1,05 г/мл) для получения 24,0%-го раствора?

243. Какую массу декагидрата дифосфата натрия $Na_4P_2O_7$ нужно растворить в 50,0 г 3,00%-го раствора дифосфата натрия для получения 8,00%-го раствора?

244. Какую массу тетрагидрата нитрата кальция нужно растворить в 75,0 г 2,00%-го раствора нитрата кальция для получения раствора с молярной концентрацией 0,948 моль/л (пл. 1,11 г/мл)?

245. Для получения насыщенного при 30 °С раствора бромида кальция необходимо смешать 1247 г тетрагидрата бромида кальция и 100 г воды. Какая масса безводного бромида кальция растворяется в 100 г воды при этой температуре?

246. Смешали 1,00 кг тетрагидрата бромида кальция и 100 г воды. Установите, полностью ли произойдет растворение, а в случае положительного ответа определите также, будет ли данный раствор насыщенным (растворимость безводного бромида кальция при этих условиях составляет 213 г в 100 г воды).

247. При 30 °С растворимость иодида лития равна 171 г в 100 г воды, а при 0 °С — 151 г. Какая масса тригидрата иодида лития выкристаллизуется из 150 г раствора, насыщенного при 30 °С, при охлаждении его до 0 °С?

248. Из 250 г 15%-го раствора сульфита натрия при охлаждении до 0 °С выпало 18,03 г гептагидрата сульфита натрия. Вычислите растворимость безводного сульфита натрия в 100 г воды при 0 °С.

249. Насыщенный при 10 °С раствор сульфата магния массой 75,0 г находится в равновесии с его гептагидратом. Как изменится масса твердой фазы при нагревании раствора с осадком до 50 °С? Растворимости безводной соли равны: при 10 °С 30,9 г в 100 г воды, при 50 °С 50,4 г в 100 г воды.

250. Массовые доли дигидрата хлорида железа (III) и гексагидрата хлорида железа (III) в их смеси равны между собой. Какую массу этой смеси надо взять для приготовления 100 г насыщенного раствора хлорида железа (III)? Растворимость безводного хлорида железа (III) равна 91,9 г в 100 г воды.

251. Количество вещества дигидрата фторида калия и количество вещества тетрагидрата фторида калия в их смеси равны между собой. Какую массу этой смеси надо взять для приготовления 250 г насыщенного раствора фторида калия? Растворимость безводного фторида калия равна 95,0 г в 100 г воды.

252. Количество вещества гептагидрата сульфата магния и количество вещества моногидрата сульфата магния в их смеси равны между собой. Какая максимальная масса этой смеси может раствориться в 150 мл воды? Растворимость безводного сульфата магния равна 45,0 г в 100 г воды.

253. Массовые доли пентагидрата сульфата марганца и моногидрата сульфата марганца в их смеси равны между собой. Какая максимальная масса этой смеси может раствориться в 8,00 моль воды? Растворимость безводного сульфата марганца равна 65,0 г в 100 г воды.

254. Гексагидрат нитрата марганца (II) и тригидрат нитрата марганца (II) смешали в молярном соотношении 3 : 1. Какая масса такой смеси может раствориться в 10,0 моль воды? Растворимость безводной соли равна 145 г в 100 г воды.

255. Гексагидрат сульфата цинка и моногидрат сульфата цинка смешали в соотношении по массе 1 : 3. Какую массу такой смеси следует растворить в 5,00 моль воды для получения 15,0%-го раствора?

256. Порция кристаллогидрата массой 282 г содержит воды на 28,0 г меньше, чем соли. Вычислите массу кристаллогидрата, которую нужно добавить к 200 г раствора с массовой долей соли 10,0%, чтобы получить раствор с массовой долей соли 16,0%.

257. Какую массу воды нужно взять для растворения безводного гидроксида бария и приготовления его насыщенного при 80 °С раствора, чтобы при охлаждении этого раствора до 0 °С выпало 100 г октагидрата гидроксида бария? Растворимость безводного гидроксида бария при 80 °С равна 101 г, а при 0 °С – 1,67 г.

258. Из 0,500 кг 40,0%-го раствора некоторой соли выпало в осадок при охлаждении 100 г кристаллогидрата этой соли. Массовая доля соли снизилась при этом до 36,3%. Вычислите массовую долю воды в кристаллогидрате.

259. Имеются две порции по 47,2 г тетрагидрата и дигидрата одной и той же соли. Порцию тетрагидрата растворили в воде, объем раствора довели до 250 мл. Молярная концентрация соли в этом растворе оказалась равной 0,800 моль/л. В каком объеме

воды следует растворить порцию дигидрата, чтобы получить 8,00%-й раствор соли?

260. Две порции по 42,9 г декагидрата и моногидрата одной и той же соли растворили в воде, объем каждого раствора довели до 500 мл. Молярная концентрация соли в растворе, полученном из декагидрата, составила 0,300 моль/л. Чему равна молярная концентрация соли в другом растворе?

261. Две порции по 48,3 г кристаллогидратов одной и той же соли, один из которых кристаллизуется с 10 молекулами воды, растворили в воде, объем каждого раствора довели до 250 мл. Молярная концентрация соли в растворе, полученном из декагидрата, составила 0,600 моль/л, в другом растворе — 0,721 моль/л. Сколько молекул воды входит в состав второго кристаллогидрата?

262. Смешали карбонат калия и кристаллогидрат карбоната натрия в соотношении по массе 12:25. Смесь растворили в достаточном объеме воды, при этом получился раствор с равными молярными концентрациями ионов калия и натрия. Установите состав кристаллогидрата.

263. Из 300 г насыщенного при 40 °С раствора хлорида цинка (растворимость 452,5 г в 100 г воды) при охлаждении до 0 °С выпало 254 г кристаллогидрата, а массовая доля соли в растворе снизилась до 73,1%. Установите формулу кристаллогидрата.

264. К 225 г 5,00%-го раствора гидрофосфата натрия добавили 10,0 г кристаллогидрата этой соли. Массовая доля соли в растворе возросла на 1,47%. Установите состав кристаллогидрата.

265. К 250 мл раствора хромата натрия с концентрацией 0,529 моль/л (пл. 1,072 г/мл) добавили 50,0 г кристаллогидрата этой соли. Молярная концентрация соли в полученном растворе стала равной 1,273 моль/л (пл. 1,17 г/мл). Установите состав кристаллогидрата.

266. К 175 г 8,00%-го раствора хлорида марганца (II) добавили 20,0 г кристаллогидрата этой соли. Молярная концентрация в полученном растворе стала равной 1,218 моль/л (пл. 1,12 г/мл). Установите состав кристаллогидрата.

267. К 400 мл раствора дихромата натрия с концентрацией 0,238 моль/л (пл. 1,041 г/мл) добавили 40,0 г кристаллогидрата этой соли. Массовая доля соли в растворе стала равной 13,17%. Установите состав кристаллогидрата.

268. Из 450 г 72,0%-го раствора ацетата калия при охлаждении от 40 до 0 °С выпало 162 г кристаллогидрата. Установите формулу кристаллогидрата, если известно, что растворимость ацетата калия при 0 °С равна 216,7 г в 100 г воды.

269. Из 600 г раствора карбоната калия с концентрацией 6,72 моль/л (пл. 1,6 г/мл), нагретого до 80 °С, при охлаждении до 20 °С выпал кристаллогидрат. Масса надосадочной жидкости

оказалась равной 494,5 г, а массовая доля соли в ней — 52,5%. Установите формулу кристаллогидрата.

270. При охлаждении 250 г насыщенного при 70 °С раствора иодида бария (растворимость 241,3 г в 100 г воды) до 0 °С выпало 173 г кристаллогидрата, а концентрация иодида бария оказалась равной 3,20 моль/л (пл. 2,00 г/мл). Установите формулу кристаллогидрата.

Растворы газов

271. Вычислите массовую долю хлороводорода в растворе, полученном растворением 1,00 л этого газа (н. у.) в 1,00 л воды.

272. Вычислите массовую долю аммиака в растворе, полученном при пропускании 1,00 л этого газа (н. у.) через 5,00 мл воды.

273. При 0 °С в одном объеме воды растворяется до 500 объемов хлороводорода. Вычислите массовую долю растворенного вещества в насыщенном водном растворе.

274. При 20 °С в одном объеме воды растворяется 2,30 объема хлора. Вычислите массовую долю хлора в его насыщенном водном растворе.

275. Вычислите объемные доли газов в смеси хлороводорода и фтороводорода, при пропускании которой через воду образуется раствор с равными массовыми долями галогеноводородов.

276. Вычислите массовые доли газов в смеси хлороводорода и бромоводорода, при пропускании которой через воду образуется раствор с равными молярными концентрациями галогеноводородов.

277. Вычислите молярную концентрацию бромоводорода в растворе объемом 50,0 л, полученном при пропускании через воду бромоводорода объемом 100 л (н. у.).

278. Какой объем аммиака (10 °С, 96 кПа) следует растворить в 100 л воды для получения 25,0%-го раствора?

279. Через 150 г 17,0%-й соляной кислоты пропустили 30,0 л хлороводорода (н. у.). Вычислите массовую долю хлороводорода в получившемся растворе.

280. Через 200 мл раствора аммиака с концентрацией 3,00 моль/л пропустили 20,0 л аммиака (20 °С, нормальное давление). Вычислите молярную концентрацию аммиака в получившемся растворе, пренебрегая изменением объема раствора в результате поглощения газа.

281. Какой объем хлороводорода (20 °С, 105 кПа) надо пропустить через 150 г 10,0%-й соляной кислоты для получения 25,0%-й соляной кислоты?

282. К насыщенному раствору аммиака (растворимость при н. у. 1300 объемов аммиака в 1 объеме воды) добавили раствор

того же вещества с молярной концентрацией 16,0 моль/л (пл. 0,890 г/мл). В каком диапазоне может находиться значение массовой доли аммиака в получившемся растворе?

283. Какой объем аммиака (н. у.) надо пропустить через 50,0 г 5,00%-го раствора аммиака для получения насыщенного раствора (растворимость аммиака равна 89,7 г в 100 г воды)?

284. Растворимость аммиака в метаноле составляет 1,41 моль на 100 г растворителя. Какой объем аммиака (н. у.) следует пропустить через 150 г метанола для получения насыщенного раствора?

285. Растворимость хлороводорода в диэтиловом эфире равна 33,2 г на 100 г растворителя. Какой объем хлороводорода (н. у.) следует пропустить через 1,50 моль диэтилового эфира для получения насыщенного раствора?

286. Через 250 г 5,75%-го раствора аммиака пропустили 10,5 л аммиака (20 °С, 101 кПа), при этом получился раствор с плотностью 0,963 г/мл. Вычислите молярную концентрацию полученного раствора.

287. Какой объем (н. у.) аммиака нужно пропустить через 150 г 2,35%-го его раствора для получения раствора с молярной концентрацией 7,00 моль/л (пл. 0,948 г/мл)?

288. Какой объем аммиака (н. у.) надо пропустить через 500 мл раствора аммиака с молярной концентрацией 1,10 моль/л (пл. 0,990 г/мл) для получения 20,0%-го раствора?

289. Какой объем хлороводорода (н. у.) надо пропустить через 300 мл раствора с молярной концентрацией хлороводорода 8,12 моль/л (пл. 1,130 г/мл) для получения насыщенного раствора (растворимость HCl равна 82,3 г в 100 г воды)?

290. Имеется 250 г раствора, в котором массовая доля сульфата аммония равна 5,00%, а массовая доля аммиака равна 15,0%. Какой объем (нормальное давление, 95 °С), аммиака следует удалить из этого раствора, чтобы молярные концентрации веществ сравнялись?

291. Растворимость оксида серы (IV) равна при 0 °С 79,8 объемов в 1 объеме воды, а при 40 °С — 18,8 объемов в 1 объеме воды. Вычислите, как изменится масса 350 г насыщенного при 0 °С раствора при его нагревании до 40 °С (испарением воды пренебречь, давление 101 кПа).

292. Растворимость аммиака равна при 0 °С 1300 объемов в 1 объеме воды, а при 20 °С — 710 объемов в 1 объеме воды. Вычислите, какой объем аммиака (н. у.) может дополнительно раствориться в 150 г насыщенного при 20 °С раствора при его охлаждении до 0 °С. Давление 101 кПа.

1.4. ОСНОВНЫЕ КЛАССЫ НЕОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

К основным классам неорганических соединений относятся оксиды, кислоты, основания и соли.

Оксиды — бинарные соединения, в состав которых входит кислород в степени окисления −2. Оксиды делятся на кислотные, основные, амфотерные и индифферентные. Отдельное положение у такого оксида, как вода.

Кислотные оксиды почти все (кроме SiO_2) непосредственно реагируют с водой, образуя соответствующий гидроксид, называемый кислотой, например:

$$Cl_2O_7 + H_2O \rightarrow 2HClO_4$$

оксид хлора (VII) — хлорная кислота

Один кислотный оксид может соответствовать двум или более кислотам:

$$CrO_3 + H_2O \rightarrow H_2CrO_4$$

оксид хрома (VI) — хромовая кислота

$$2CrO_3 + H_2O \rightarrow H_2Cr_2O_7$$

оксид хрома (VI) — дихромовая кислота

Реакции кислотных оксидов с водой протекают почти всегда без изменения степеней окисления и представляют собой пример реакций соединения. Одно из немногих исключений составляет оксид азота (IV), вступающий с водой в окислительно-восстановительную реакцию и образующий две кислоты — азотную и азотистую:

$$2NO_2 + H_2O \rightleftarrows NHO_3 + HNO_2$$

Наиболее часто встречающиеся кислотные оксиды: CO_2, SiO_2, N_2O_3, N_2O_5, P_2O_3, P_2O_5, SO_2, SO_3. Оксиды CO_2 и SO_2 реагируют с водой обратимо. Кремниевая кислота (гидроксид, соответствующий SiO_2) получается косвенным путем.

Основные оксиды, образованные щелочными металлами (элементы IA-группы, кроме водорода) и щелочно-земельными металлами (кальций, стронций, барий), также непосредственно реагируют с водой, образуя гидроксиды металлов, которые называются основаниями:

$$Li_2O + H_2O \rightarrow 2LiOH$$

$$SrO + H_2O \rightarrow Sr(OH)_2$$

Наиболее часто встречающиеся основные оксиды: Na_2O, K_2O, MgO, CaO, BaO, FeO, Fe_2O_3, Cu_2O, CuO, Ag_2O. Оксиды магния, железа и меди (II) образуют гидроксиды косвенным путем. Соединение Fe_3O_4 можно рассматривать как смешанный оксид $FeO \cdot Fe_2O_3$, которому соответствуют два гидроксида: $Fe(OH)_2$ и $Fe(OH)_3$.

Основные и кислотные оксиды могут реагировать между собой (обычно при нагревании), образуя соли, например:

$$MgO + SiO_2 \rightarrow MgSiO_3$$

$$3CaO + P_2O_5 \rightarrow Ca_3(PO_4)_2$$

В этих реакциях элемент из основного оксида образует катион соли, а элемент из кислотного оксида — анион соли.

Амфотерные оксиды могут вступать в реакции как с кислотными оксидами, проявляя основные свойства, например:

$$BeO + SO_3 \rightarrow BeSO_4$$

так и с основными оксидами, проявляя кислотные свойства, например:

$$BeO + Na_2O \rightarrow Na_2BeO_2$$

Очевидно, что элемент из амфотерного оксида может образовывать как катион соли, так и анион. Наиболее часто встречающиеся амфотерные оксиды: Al_2O_3, Cr_2O_3, ZnO. Им соответствуют амфотерные гидроксиды, которые получаются только косвенно. Слабоамфотерными свойствами обладают CuO и Fe_2O_3.

К индифферентным оксидам относят обычно CO, N_2O и NO.

Кислотами называют сложные вещества, диссоциирующие в водном растворе на ион водорода и ион кислотного остатка. Функцию кислоты может выполнять и ион, если он способен в химических реакциях отдавать протон. Наиболее часто встречающиеся молекулярные кислоты:

Гидроксиды кислотных оксидов

H_2CO_3 — угольная (соли — карбонаты CO_3^{2-} и гидрокарбонаты HCO_3^-);

H_2SiO_3 — кремниевая (соли — силикаты SiO_3^{2-}; кислых солей нет);

HNO_2 — азотистая (соли — нитриты NO_2^-);

HNO_3 — азотная (соли — нитраты NO_3^-);

H_3PO_3 — фосфористая (соли — фосфиты HPO_3^{2-});

H_3PO_4 — фосфорная (соли — фосфаты PO_4^{3-}; гидрофосфаты HPO_4^{2-} и дигидрофосфаты $H_2PO_4^-$);

H_2SO_3 — сернистая (соли — сульфиты SO_3^{2-} и гидросульфиты HSO_3^-);

H_2SO_4 — серная (соли — сульфаты SO_4^{2-} и гидросульфаты HSO_4^-);

H_2CrO_4 — хромовая (соли — хроматы CrO_4^{2-});

$H_2Cr_2O_7$ — дихромовая (соли — дихроматы $Cr_2O_7^{2-}$);

$HMnO_4$ — марганцевая (соли — перманганаты MnO_4^-).

Бескислородные

HF — фтороводородная, или плавиковая (соли — фториды F^-);
HCl — хлороводородная, или соляная (соли — хлориды Cl^-);
HBr — бромоводородная (соли — бромиды Br^-);
HI — иодоводородная (соли — иодиды I^-);
H_2S — сероводородная (соли — сульфиды S^{2-}).

Органические

CH_3COOH — уксусная (соли — ацетаты CH_3COO^-).

По силе кислоты располагаются в следующий ряд:

1) сильные, не отличающиеся по силе в водном растворе

$$HCl,\ HBr,\ HI,\ H_2SO_4,\ HNO_3$$

2) средние (в порядке убывания силы)

$$H_2SO_3 > HSO_4^- > H_3PO_4 > HF > HNO_2$$

3) слабые (в порядке убывания силы)

$$CH_3COOH > H_2CO_3 > H_2S > HSO_3^- \quad \text{и} \quad H_2PO_4^- > HCO_3^- > HPO_4^{2-} > HS^-$$

Основаниями называют сложные вещества, диссоциирующие в водном растворе на ион металла и гидроксид-ион. В более широком смысле под основанием понимают любую частицу (молекулярную или ионную), способную присоединять протон. К неорганическим основаниям относятся гидроксиды металлов и аммиак NH_3.

По силе основания располагаются в следующий ряд:

1) сильные; в водном растворе примерно одинаковой силы:

$$NaOH,\ KOH,\ Ca(OH)_2,\ Ba(OH)_2$$

2) средние

$$Mg(OH)_2$$

3) слабые

NH_3 > практически все нерастворимые гидроксиды металлов.

Слабые основания, образованные металлами, разлагаются при нагревании:

$$Me(OH)_2 \rightarrow MeO + H_2O$$

$$2Me(OH)_3 \rightarrow Me_2O_3 + 3H_2O$$

Кислоты и основания обладают во многом противоположными свойствами. Они вступают между собой в реакции, образуя соли. Такие реакции называются *реакциями нейтрализации*. Соли образуются также в реакциях кислот с основными оксидами и оснований с кислотными оксидами:

$$NaOH + HCl \rightarrow NaCl + H_2O$$

$$2NaOH + CO_2 \rightarrow Na_2CO_3 + H_2O$$

$$H_2SO_4 + MgO \rightarrow MgSO_4 + H_2O$$

Амфотерные основания в реакциях с концентрированными растворами щелочей образуют растворимые комплексные соединения (уравнения реакций приведены в ионном виде) (Me – Al или Cr)

$$Me(OH)_3 + OH^- \rightarrow [Me(OH)_4]^-$$

$$Zn(OH)_2 + 2OH^- \rightarrow [Zn(OH)_4]^{2-}$$

Соли рассматриваются как продукты взаимодействия кислот и оснований. Средние соли образуются в реакциях одноосновных кислот с однокислотными основаниями, а также в результате полной нейтрализации многоосновных кислот, например:

$$CH_3COOH + KOH \rightarrow KCH_3COO + H_2O$$

$$H_2SO_4 + 2NaOH \rightarrow Na_2SO_4 + 2H_2O$$

При неполной нейтрализации многоосновных кислот образуются кислые соли, например:

$$H_2SO_4 + NaOH \rightarrow NaHSO_4 + H_2O$$

Известны также основные соли (содержат в составе гидроксогруппы, например $(CuOH)_2CO_3$) и двойные соли (содержат в составе два разных катиона, например $KAl(SO_4)_2$).

Соли вступают в реакции с кислотами и основаниями, а также между собой. Однако эти реакции протекают только в том случае, если происходит связывание ионов в малорастворимый электролит (осадок) или в слабый электролит, или в комплексное соединение. Кроме того, в большинстве случаев (но не всегда) необходимо, чтобы исходные вещества были достаточно хорошо растворимы.

Реакции с участием солей, протекающие в водной среде (без изменения степеней окисления).

1. Взаимодействие солей с растворимыми кислотами с образованием слабого электролита.

Сильная кислота (HNO_3) вытесняет более слабую (CH_3COOH) из ее соли:

$$KCH_3COO + HNO_3 \rightarrow CH_3COOH + KNO_3$$

Сильная кислота (HCl) вытесняет более слабую ($H_2PO_4^-$) из ее соли:

$$2CaHPO_4 + 2HCl \rightarrow Ca(H_2PO_4)_2 + CaCl_2$$

При избытке HCl образуется фосфорная кислота.

Частным случаем таких реакций являются реакции, в ходе которых образуются газы (CO_2 — при действии кислот на растворимые и нерастворимые карбонаты, а также на гидрокарбонаты; SO_2 — при действии кислот на растворимые и нерастворимые сульфиты, а также гидросульфиты; H_2S — при действии на растворимые сульфиды, а также на нерастворимые ZnS и FeS и гидросульфиды). Например:

$$MgCO_3 + H_2SO_4 \rightarrow MgSO_4 + CO_2\uparrow + H_2O$$

$$NaHS + HBr \rightarrow NaBr + H_2S\uparrow$$

$$Na_2SO_3 + 2HCl \rightarrow 2NaCl + SO_2\uparrow + H_2O$$

При добавлении уксусной кислоты к раствору сульфита натрия образуется кислая соль:

$$Na_2SO_3 + CH_3COOH \rightarrow NaHSO_3 + NaCH_3COO$$

Уксусная кислота, как более сильная, чем HSO_3^-, вытесняет ее из соли, но вытеснить H_2SO_3 ($SO_2 + H_2O$) не может, так как слабее ее.

Сильные кислоты не вытесняют друг друга из солей в водных растворах, поэтому при смешивании, например, водных растворов NaCl и H_2SO_4 или Na_2SO_4 и HCl реакции не протекают.

2. Взаимодействие растворимых солей с растворимыми кислотами с образованием осадка. Например:

$$K_2SiO_3 + 2HCl \rightarrow 2KCl + H_2SiO_3\downarrow$$

$$BaCl_2 + H_2SO_4 \rightarrow BaSO_4\downarrow + 2HCl$$

$$BaSO_4 + H_3PO_4 \not\rightarrow \text{реакция не протекает,}$$

так как соль нерастворима.

3. Взаимодействие солей с основаниями с образованием слабого электролита. В неорганической химии этот тип взаимодей-

ствия исчерпывается практически только реакциями солей аммония со щелочами, например:

$$NH_4Cl + NaOH \xrightarrow{t} NaCl + NH_3\uparrow + H_2O$$

4. Взаимодействие растворимых солей с растворимыми основаниями с образованием осадка. Например:

$$MgCl_2 + 2KOH \rightarrow Mg(OH)_2\downarrow + 2KCl$$

$$2NH_3 + 2H_2O + Fe(NO_3)_2 \rightarrow 2NH_4NO_3 + Fe(OH)_2\downarrow$$

$$3Ca(OH)_2 + Fe_2(SO_4)_3 \rightarrow 2Fe(OH)_3\downarrow + 3CaSO_4\downarrow$$

$$2AgNO_3 + Ba(OH)_2 \rightarrow Ba(NO_3)_2 + Ag_2O\downarrow + H_2O$$

Чаще всего малорастворимый $CaSO_4$ считают осадком, а малорастворимый $Ca(OH)_2$ — растворимым веществом.

5. Взаимодействие растворимых солей с растворимыми солями с образованием осадка. Например:

$$NaCl + KNO_3 \nrightarrow$$ реакция не протекает,

так как не образуется осадок.

$$NaCl + AgNO_3 \rightarrow AgCl\downarrow + NaNO_3$$

$$BaSO_4 + Na_2SO_3 \nrightarrow$$ реакция не протекает,

так как исходная соль не растворимая.

Гидролизу подвергаются растворимые в воде соли, образованные слабым электролитом (слабой кислотой, слабым основанием или и слабой кислотой, и слабым основанием).

В обратимые реакции с водой вступают преимущественно следующие катионы: NH_4^+, Cu^{2+}, Zn^{2+}, Fe^{2+}, Fe^{3+}, Cr^{3+}, Al^{3+} (соли магния гидролизуются незначительно, соли серебра не гидролизуются).

В результате гидролиза происходит закисление раствора:

$$Kt^{z+} + H_2O \rightleftarrows KtOH^{(z-1)+} + H^+$$

катион соли гидроксокатион

Примеры реакций гидролиза по катиону:

$$Al^{3+} + H_2O \rightleftarrows AlOH^{2+} + H^+$$

$$Cu^{2+} + H_2O \rightleftarrows CuOH^+ + H^+$$

$$NH_4^+ + H_2O \rightleftarrows NH_3 \cdot H_2O + H^+$$

В обратимые реакции с водой вступают преимущественно следующие анионы: CH_3COO^-, S^{2-}, SO_3^{2-}, CO_3^{2-}, SiO_3^{2-}, PO_4^{3-} и HPO_4^{2-} (нитриты и фториды гидролизуются незначительно).

В результате гидролиза происходит защелачивание раствора:

$$\underset{\text{анион соли}}{An^{z-}} + H_2O \rightleftarrows \underset{\text{гидроанион}}{HAn^{(z-1)-}} + OH^-$$

Примеры реакций гидролиза по аниону:

$$PO_4^{3-} + H_2O \rightleftarrows HPO_4^{2-} + OH^-$$

$$CO_3^{2-} + H_2O \rightleftarrows HCO_3^- + OH^-$$

$$CH_3COO^- + H_2O \rightleftarrows CH_3COOH + OH^-$$

Гидролиз силикатов протекает по более сложному типу. В большинстве случаев гидролиз идет по первой ступени, причем равновесие, как правило, сильно смещено в сторону исходной соли.

Соли, образованные слабой кислотой и слабым основанием, подвергаются или обратимому, или необратимому гидролизу (в зависимости от силы электролита и возможности выделения продуктов гидролиза в осадок или газообразную фазу):

$$NH_4CH_3COO + H_2O \rightleftarrows NH_3 \cdot H_2O + CH_3COOH$$

$$Al_2S_3 + 6H_2O \rightarrow 2Al(OH)_3\downarrow + 3H_2S\uparrow$$

Более сложный случай представляет собой *совместный гидролиз*, протекающий при смешении раствора, содержащего катионы Al^{3+} или Cr^{3+}, и раствора, содержащего один из трех анионов: S^{2-}, SO_3^{2-}, CO_3^{2-}, например:

$$3K_2S + 2AlCl_3 + 6H_2O \rightarrow 2Al(OH)_3\downarrow + 3H_2S\uparrow + 6KCl$$

$$3Na_2SO_3 + Cr_2(SO_4)_3 + 3H_2O \rightarrow 3Na_2SO_4 + 2Cr(OH)_3\downarrow + 3SO_2\uparrow$$

В реакции совместного гидролиза вступают также ионы Fe^{3+} и CO_3^{2-}; NH_4^+ и SiO_3^{2-}.

Реакции с участием солей в отсутствие воды. Нелетучие кислоты могут вытеснять летучие из их солей. Например:

$$NaCl(т) + H_2SO_4(конц) \rightarrow HCl\uparrow + NaHSO_4$$

$$KNO_3(т) + H_2SO_4(конц) \rightarrow HNO_3\uparrow + KHSO_4$$

В приведенных выше реакциях одна сильная кислота (H_2SO_4) вытесняет другую (HCl и HNO_3) за счет разницы в летучести (подобные реакции в водной среде не протекают). В нижеприведенной реакции оксид, соответствующий слабой кислоте (H_2SiO_3), вытесняет оксид, соответствующий более сильной кислоте (H_2CO_3):

$$Na_2CO_3(т) + SiO_2 \xrightarrow{t} Na_2SiO_3 + CO_2\uparrow$$

В водной среде реакция протекает в противоположном направлении.

При составлении уравнений реакций с участием кислот, оснований и солей следует иметь в виду, что в ряде случаев протекают окислительно-восстановительные реакции (они будут рассмотрены позже). Здесь же обратим внимание на часто встречающиеся в этой связи ошибки. Не подчиняются приведенным выше закономерностям реакции с участием следующих веществ и ионов:

соединения Fe^{3+} и сульфиды (продукты FeS^{2+}, S);

соединения железа (III) и иодиды (продукты Fe^{2+}, I_2);

соединения меди (II) и иодиды (продукты CuI, I_2);

HNO_3 и сульфиды, гидросульфиды (продукты S, NO);

HNO_3 и сульфиты, гидросульфиты (продукты SO_4^{2-}, NO);

HNO_3 и соединения железа (II) (продукты Fe^{3+}, NO).

Классификация реакций. Все реакции можно условно разделить на две большие группы: реакции, протекающие без изменения степеней окисления, и окислительно-восстановительные реакции. По характеру изменений в структурных единицах принято выделять четыре типа: реакции соединения, разложения, замещения, обмена (далеко не все реакции могут быть отнесены к одному из этих типов).

В *реакции соединения* вступают два или больше простых или сложных веществ, в результате чего образуется одно сложное соединение. К реакциям соединения относятся многие реакции между простыми веществами, например,

$$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$$

$$2Na + Cl_2 \rightarrow 2NaCl$$

а также рассмотренные выше реакции гидратации кислотных и основных оксидов, реакции между кислотными и основными

оксидами. Реакции соединения могут быть как окислительно-восстановительными, так и протекающими без изменения степеней окисления.

В *реакциях разложения* вступает одно сложное вещество, в результате чего образуются два или несколько простых или сложных веществ. В реакции разложения (при нагревании) вступают нерастворимые кабонаты, гидроксиды металлов, все нитраты, например:

$$2Fe(OH)_3 \rightarrow Fe_2O_3 + 3H_2O$$

$$MgCO_3 \rightarrow MgO + CO_2$$

$$2Cu(NO_3)_2 \rightarrow 2CuO + 4NO_2 + O_2$$

Среди приведенных выше реакций первые две протекают без изменения степеней окисления, а последняя является окислительно-восстановительной.

В *реакции замещения* вступает простое вещество и сложное, в результате чего образуются новое простое вещество и новое сложное вещество. Многие из этих реакций протекают в соответствии с рядом стандартных электродных потенциалов металлов:

K Ba Ca Na Mg Al Mn Zn Cr Fe Pb H Cu Ag

Металлы, стоящие левее в этом ряду, вытесняют металлы, стоящие правее, из их солей и оксидов, например:

$$Mg + Cu(NO_3)_2 \rightarrow Mg(NO_3)_2 + Cu \text{ (в растворе)}$$

$$2Al + Fe_2O_3 \rightarrow 2Fe + Al_2O_3 \text{ (в расплаве)}$$

Однако надо помнить, что калий, барий, кальций и натрий реагируют с водой, например,

$$2Na + 2H_2O \rightarrow 2NaOH + H_2\uparrow$$

$$Ca + 2H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + H_2\uparrow$$

Поэтому эти металлы могут вытеснять менее активные только из расплавов солей. Взаимодействие щелочных и щелочно-земельных металлов с водой также является примером реакций замещения. В реакции замещения вступают металлы, стоящие в ряду левее водорода, и большинство кислот (кроме азотной, концентрированной серной и самых слабых кислот), например:

$$Fe + H_2SO_4 \rightarrow FeSO_4 + H_2\uparrow$$

Все реакции замещения — окислительно-восстановительные.

В *реакции обмена* вступают сложные вещества, которые обмениваются своими ионами. Они протекают без изменения степеней окисления. Примеры таких реакций были приведены выше (соль + соль; соль + кислота; соль + основание).

УПРАЖНЕНИЯ

293. Назовите перечисленные ниже вещества и распределите их по классам неорганических соединений: Na_3PO_4, H_2SiO_3, NO, B_2O_3, MgS, BaI_2, $Ca(OH)_2$, KNO_3, HNO_2, Cl_2O_7, $Fe(OH)_3$, P_2O_5, HF, MnO_2.

294. Расставьте коэффициенты (где необходимо) в приведенных ниже схемах и укажите для каждой из них тип реакции (соединения, разложения, замещения, обмена):

а) $Xe + F_2 \rightarrow XeF_2$;

б) $SiO_2 + HF \rightarrow SiF_4\uparrow + H_2O$;

в) $Cl_2O_7 \rightarrow Cl_2 + O_2$;

г) $Cl_2 + KBr \rightarrow Br_2 + KCl$;

д) $P_2O_3 + O_2 \rightarrow P_2O_5$;

е) $Al_2S_3 + H_2O \rightarrow Al(OH)_3\downarrow + H_2S\uparrow$;

ж) $Ni + HCl \rightarrow NiCl_2 + H_2\uparrow$;

з) $Na + H_2O \rightarrow NaOH + H_2\uparrow$;

и) $SO_2 + C \rightarrow CO_2 + S$;

к) $NH_3 + H_2SO_4 \rightarrow NH_4HSO_4$;

л) $Mg_3N_2 + H_2O \rightarrow Mg(OH)_2\downarrow + NH_3\uparrow$;

м) $SiO_2 + Mg \rightarrow Si + MgO$;

н) $AgNO_3 \rightarrow Ag + NO_2 + O_2$;

о) $CrO_3 + KOH \rightarrow K_2CrO_4 + H_2O$.

295. Из каких веществ, которые перечислены ниже, можно в одну стадию получить оксид (кроме воды): сера, хлорид натрия, натрий, карбонат кальция, гидроксид кальция, этан, гидроксид калия, серная кислота, литий, кремниевая кислота, фосфин? Напишите уравнения реакций. Какие из перечисленных реакций протекают без изменения степеней окисления элементов?

296. Приведите формулы и названия оксидов, которые при нормальных условиях являются: а) твердыми; б) жидкими; в) газообразными.

297. Какие из перечисленных ниже оксидов реагируют между собой: оксид кальция, угарный газ, оксид фосфора (V), углекислый газ, оксид серы (VI), оксид азота (I), оксид калия?

298. Приведите примеры реакций, протекающих без изменения степеней окисления элементов между: а) оксидом элемента третьего периода и оксидом элемента четвертого периода; б) оксидами разных элементов одного периода; в) оксидом элемента IA-группы и оксидом элемента VIA-группы; г) оксидом элемента IIA-группы и оксидом элемента VA-группы.

299. Из каких перечисленных ниже веществ можно в одну стадию получить гидроксид (кислоту или основание): медь, оксид железа (II), оксид бария, оксид азота (II), оксид азота (V), оксид кремния, сульфат меди, хлорид калия, калий, карбонат магния.

300. Как опытным путем определить, в какой из двух пробирок находится раствор кислоты, а в какой — раствор щелочи?

301. Приведите примеры реакций соединения между: а) простыми веществами-неметаллами; б) простым веществом и оксидом; в) оксидами; г) сложными веществами, не являющимися оксидами; д) металлом и неметаллом; е) тремя веществами.

302. Приведите примеры реакций разложения, в ходе которых образуются: а) только простые вещества; б) простое и сложное вещества; в) два сложных вещества, не являющихся оксидами; г) три сложных вещества.

303. Приведите по два примера реакций замещения, в ходе которых: а) образуется металл и не образуется соль; б) образуется соль и не образуется металл.

304. Укажите, в реакциях между какими веществами в водной среде образуется: газ; осадок; и газ, и осадок:

а) сульфат аммония + гидроксид бария (при нагревании);
б) сульфит бария + бромоводород;
в) сульфат железа(II) + гидроксид бария;
г) карбонат натрия + уксусная кислота;
д) силикат калия + азотная кислота;
е) сульфид бария + серная кислота;
ж) сульфид меди(I) + соляная кислота;
з) сульфид железа(II) + иодоводород.

Напишите уравнения протекающих реакций.

305. Укажите, какие из приведенных ниже пар веществ вступают в реакции нейтрализации:

а) аммиак и серная кислота; б) аммиак и кремниевая кислота; в) гидроксид алюминия и соляная кислота; г) гидроксид алюминия и сероводородная кислота; д) гидроксид хрома(III) и сернистая кислота; е) гидроксид хрома(III) и азотная кислота. Напишите уравнения протекающих реакций.

306. Укажите, какие из приведенных ниже пар веществ могут вступать в реакцию в водной среде. Напишите уравнения протекающих реакций и объясните, почему они протекают:

а) карбонат калия + соляная кислота;
б) гидроксид магния + серная кислота;
в) хлорид бария + нитрат натрия;
г) хлорид кальция + сульфат калия;
д) нитрат серебра + соляная кислота;
е) азотная кислота + гидроксид натрия;
ж) карбонат кальция + азотная кислота;
з) сульфат алюминия + иодид бария;
и) сульфат железа (II) + гидроксид натрия;
к) нитрат калия + сульфат хрома (III);
л) бромоводородная кислота + сульфат аммония;
м) нитрат меди + сульфат железа (III);
н) нитрат бария + серная кислота;
о) сульфит кальция + соляная кислота;
п) метасиликат натрия + нитрат калия;
р) фосфорная кислота + гидроксид кальция;
с) метасиликат калия + серная кислота;
т) гидроксид железа (II) + карбонат натрия;
у) кремниевая кислота + нитрат магния;
ф) фосфорная кислота + нитрат калия.

307. Напишите обменную реакцию, протекающую в водном растворе, в результате которой оба продукта выпадают в осадок.

308. В вашем распоряжении имеются вещества: оксид железа (III), оксид азота (II), оксид магния, оксид фосфора (V), оксид кремния. Какой один дополнительный реактив следует выбрать (водный раствор), чтобы из перечисленных веществ получить две средние соли (каждую в одну стадию)? Напишите уравнения реакций.

309. В вашем распоряжении имеются вещества: сульфат натрия, оксид азота (I), оксид железа (II), оксид фосфора (V), оксид серы (VI). Какой один дополнительный реактив следует выбрать (водный раствор), чтобы из перечисленных веществ получить две средние соли (каждую в одну стадию)? Напишите уравнения реакций.

310. Какие из перечисленных солей: хлорид бария, нитрат железа (II), гидрокарбонат калия, сульфат натрия, нитрат аммония могут реагировать с разбавленным раствором какой-либо кислоты? Напишите уравнения реакций.

311. Какие из перечисленных солей: нитрат серебра, сульфат магния, гидросульфит кальция, хлорид натрия, бромид аммония могут реагировать с разбавленным раствором какой-либо кислоты? Напишите уравнения реакций.

312. Какие из перечисленных солей: нитрат аммония, сульфит калия, силикат натрия, хлорид меди (II), бромид бария — могут реагировать с разбавленным раствором какой-либо щелочи? Напишите уравнения реакций.

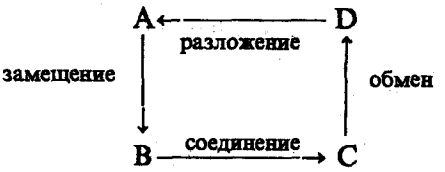
313. Какие из перечисленных веществ: гидроксид железа (II), сульфат бария, оксид азота (II), гидрокарбонат аммония, углекислый газ могут реагировать с разбавленным раствором какой-либо щелочи? Напишите уравнения реакций.

314. Какие из перечисленных веществ: гидроксид магния, силикат натрия, оксид углерода (II), гидроксид цинка, сероводород могут реагировать с разбавленным раствором какой-либо щелочи? Напишите уравнения реакций.

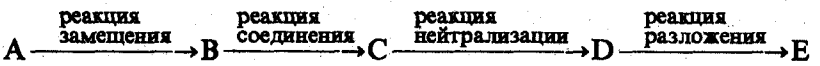
315. Какие из перечисленных солей, находящихся в водных растворах,— хлорид натрия, нитрат калия, нитрат меди (II), сульфат аммония — могут вступать в реакцию с водным раствором какой-либо другой соли? Напишите уравнения реакций.

316. Какие из перечисленных солей, находящихся в водных растворах, могут вступать в реакцию между собой: нитрат бария, сульфат железа (II), хлорид магния, иодид аммония, сульфид натрия, сульфат калия? Напишите уравнения реакций.

317. Составьте уравнения в соответствии со схемой:



318. Составьте уравнения в соответствии со схемой:



319. Составьте уравнения в соответствии со схемой:



320. Напишите уравнения реакций, протекающих без изменения степеней окисления элементов, по схеме: гидроксид→карбонат→сульфат→хлорид→нитрат (все вещества растворимы в воде).

321. Напишите уравнения реакций, протекающих без изменения степеней окисления элементов, по схеме: нитрат→гидроксид→хлорид→сульфид→сульфат (все вещества содержат один и тот же металл).

322. Составьте уравнения реакций, протекающих без изменения степеней окисления элементов, по схеме: основание$_1$→основание$_2$→основание$_3$→соль$_1$→соль$_2$→соль$_3$→кислота$_1$→кислота$_2$→кислота$_3$.

323. Составьте уравнения реакций, протекающих без изменения степеней окисления элементов, по схеме: основание$_1$→соль$_1$→кислота$_1$→соль$_2$→основание$_2$→соль$_3$→кислота$_2$→соль$_4$→основание$_3$.

324. Составьте уравнения реакций, протекающих без изменения степеней окисления элементов, по схеме: оксид$_1$→соль$_1$→оксид$_2$→соль$_2$→основание→соль$_3$→оксид$_3$→соль$_4$→соль$_5$→соль$_6$.

325. Приведите по одному примеру обменных реакций для следующих случаев (указано число атомов в формульных единицах):

а) соль А (3 атома)→соль В (6 атомов);

б) соль А (5 атомов)→соль В (2 атома);

в) соль А (9 атомов)→соль В (2 атома);

г) в формульной единице соли А на 1 атом меньше, чем в В;

д) в формульной единице соли А на 4 атома больше, чем в В.

326. Среди перечисленных веществ — нитрат калия, сульфат калия, сульфит калия, хлорид бария — выберите то, которое не будет вступать в обменные реакции в водном растворе с остальными. Из числа оставшихся выберите то, которое будет реагировать с двумя другими.

327. Среди перечисленных веществ — бромоводород, нитрат аммония, сульфид натрия, карбонат калия — выберите то, которое не будет вступать в обменные реакции в водном растворе с остальными. Из числа оставшихся выберите то, которое будет реагировать с двумя другими.

328. Среди перечисленных веществ — гидроксид кальция, гидрофосфат аммония, нитрат бария, ацетат калия — выберите то, которое не будет вступать в обменные реакции в водном растворе с остальными. Из числа оставшихся выберите то, которое будет реагировать с двумя другими.

329. Среди перечисленных веществ — аммиак, нитрат алюминия, сульфат натрия, хлорид железа (II) — выберите то, которое не будет вступать в обменные реакции в водном растворе с остальными. Из числа оставшихся выберите то, которое будет реагировать с двумя другими.

330. Какие три соли из перечисленных пяти могут одновременно находиться в водном растворе: сульфат магния, карбонат натрия, хлорид меди (II), хлорид бария, нитрат натрия? Приведите два варианта ответа и поясните, сопроводив их при необходимости уравнениями реакций.

331. Какое максимальное число солей из перечисленных ниже могут одновременно находиться в водном растворе: нитрат меди

(II), бромид аммония, ацетат свинца, иодид кальция, нитрат серебра? Поясните и приведите при необходимости уравнения реакций.

332. Используя воду, хлороводород, сульфат железа (III) и аммиак, получите в чистом виде хлорид железа (III).

333. Используя воду, хлорид железа (III), аммиак и бромоводород, получите в чистом виде бромид железа (III).

334. Не прибегая к окислительно-восстановительным реакциям, пользуясь только водными растворами серной кислоты, хлорида магния и гидроксида калия, получите в чистом виде пять сложных веществ, не считая воды.

335. Используя соляную кислоту, водные растворы сульфата меди и гидроксида натрия, получите с помощью реакций, протекающих без изменения степеней окисления, пять сложных веществ, не считая воды.

336. Используя серную кислоту, гидроксид бария, воду и бромид железа (II), получите с помощью реакций, протекающих без изменения степеней окисления, пять сложных веществ.

337. Используя карбонат кальция, соляную кислоту, гидроксид натрия и воду, получите шесть сложных веществ, не применяя электролиз.

338. Используя карбонат цинка, азотную кислоту, гидроксид калия и воду, получите с помощью только реакций обмена четыре сложных вещества.

339. Приведите пять магнийсодержащих веществ, из которых с помощью реакций, протекающих без изменения степени окисления, можно получить в одну стадию сульфат магния. Напишите уравнения реакций.

340. Приведите пять кальцийсодержащих веществ, из которых с помощью реакций, протекающих без изменения степени окисления, можно получить в одну стадию бромид кальция. Напишите уравнения реакций.

341. Приведите три азотсодержащих вещества, из которых с помощью реакций, протекающих без изменения степени окисления, можно получить в одну стадию нитрат магния, причем из одного из веществ тремя способами. Напишите уравнения реакций.

342. Приведите два серосодержащих вещества, из которых с помощью реакций, протекающих без изменения степени окисления, можно получить в одну стадию сульфат кальция, причем из одного из веществ тремя способами, а из второго — двумя. Напишите уравнения реакций.

343. Приведите пять цинкосодержащих веществ, из которых с помощью реакций, протекающих без изменения степени окисления, можно получить в одну стадию нитрат цинка. Напишите уравнения реакций.

344. Имеются вода и сульфит аммония. Выберите только одну кислоту и одну соль и получите с использованием четырех веществ, а также продуктов их взаимодействия (без электролиза) следующие вещества: оксид серы (IV), сульфит кальция, бромид кальция, бромид аммония и нитрат аммония.

345. Имеются вода и сульфит магния. Выберите только одну кислоту и одну соль и получите с использованием четырех веществ, а также продуктов их взаимодействия (без электролиза) следующие вещества: нитрат магния, сульфат магния, оксид серы (IV), оксид магния, сульфат бария.

346. Имеются вода и гидрофосфат калия. Выберите только одно основание и одну кислоту и получите с использованием четырех веществ, а также продуктов их взаимодействия следующие вещества: фосфат бария, гидрофосфат бария, нитрат бария, гидроксид калия, дигидрофосфат калия.

347. Имеются вода и дигидрофосфат натрия. Выберите только одно основание и одну кислоту и получите с использованием четырех веществ, а также продуктов их взаимодействия следующие вещества: фосфат кальция, дигидрофосфат кальция, хлорид натрия, гидроксид натрия, хлорид кальция.

348. Имеются вода и дигидрофосфат аммония. Выберите только одно основание и одну соль и получите с использованием четырех веществ, а также продуктов их взаимодействия следующие вещества: аммиак, оксид железа (II), сульфат аммония, сульфат бария, фосфат бария.

349. Имеются вода и гидрофосфат аммония. Выберите только одно основание и одну соль и получите с использованием четырех веществ, а также продуктов их взаимодействия следующие вещества: аммиак, бромид кальция, фосфат кальция, хромит кальция, бромид аммония.

350. Имеются вода и сульфид натрия. Выберите только одну кислоту и одну соль и получите с использованием четырех веществ, а также продуктов их взаимодействия (без электролиза) следующие вещества: сероводород, хлорид железа (II), хлорид натрия, сульфид железа, нитрат натрия.

351. Имеются вода и хлорид цинка. Выберите только две соли и получите с использованием четырех веществ, а также продуктов их взаимодействия, не прибегая к электролизу, следующие вещества: нитрат цинка, сульфид цинка, сульфид серебра, хлорид натрия и нитрат натрия.

352. Имеются вода и силикат натрия. Выберите только одно основание и один оксид и получите с использованием четырех веществ, а также продуктов их взаимодействия следующие вещества: карбонат натрия, силикат бария, гидрокарбонат бария, гидроксид натрия, оксид кремния.

353. Имеются вода и карбонат калия. Выберите только один оксид и одну кислоту и получите с использованием четырех

веществ, а также продуктов их взаимодействия (без электролиза) следующие вещества: гидроксид бария, гидрокарбонат калия, хлорид калия, карбонат бария, гидрокарбонат бария.

354. Имеются вода и оксид бария. Выберите только две соли и получите с использованием четырех веществ, а также продуктов их взаимодействия следующие вещества: гидроксид бария, гидроксид меди (II), бромид бария, иодид бария, оксид железа (II).

355. К раствору, содержащему смесь хлорида калия и сульфата натрия, сначала добавили избыток нитрата бария, а затем — еще больший избыток нитрата серебра. Какие ионы остались в растворе? Напишите уравнения реакций в ионном виде.

356. К раствору, содержащему смесь карбоната калия и сульфата натрия, сначала добавили избыток серной кислоты, а затем — еще больший избыток хлорида бария. Какие ионы остались в растворе? Напишите уравнения реакций в ионном виде.

357. К раствору, содержащему смесь карбоната натрия и гидроксида натрия, сначала добавили избыток нитрата серебра, а затем — еще больший избыток хлорида меди. Какие ионы остались в растворе? Напишите уравнения реакций в ионном виде.

358. К раствору смеси двух солей добавили избыток гидроксида натрия и смесь нагрели. После отделения оксадка и выделения газа в растворе, кроме ионов Na^+ и OH^-, оказались только ионы Cl^- и SO_4^{2-}. Какие соли могли находиться в исходном растворе? Приведите один из возможных вариантов ответа и уравнения реакций в ионном виде.

359. К раствору смеси двух солей добавили избыток соляной кислоты. После выделения газа в растворе, кроме ионов H^+ и Cl^-, оказались только ионы Na^+. Какие соли могли находиться в исходном растворе? Приведите один из возможных вариантов ответа и уравнения реакций.

360. К раствору смеси двух солей добавили избыток карбоната натрия. После отделения осадка в растворе, кроме ионов Na^+ и CO_3^{2-}, оказались только ионы Cl^- и SO_4^{2-}. Какие соли могли находиться в исходном растворе? Приведите один из возможных вариантов ответа и уравнения реакций.

361. Смесь двух солей (разные катионы и анионы) обработали избытком разбавленной серной кислоты. Смесь нагрели. После выделения газа и отделения осадка в фильтрате оказались только ионы H^+ и SO_4^{2-}. Какие соли могли находиться в исходной смеси? Приведите один из возможных вариантов ответа и уравнения реакций.

362. К раствору смеси двух солей добавили избыток NaOH, смесь нагрели и после прекращения выделения газа добавили еще больший избыток соляной кислоты. В растворе после прекраще-

ния выделения газа остались только ионы H^+, Na^+ и Cl^-. Какие соли могли находиться в исходном растворе? Приведите десять возможных вариантов ответа и уравнения реакций в ионном виде.

363. Для следующих ионных уравнений составьте по два варианта молекулярных уравнения (Me — металл):

а) $Me^{2+} + SO_3^{2-} \rightarrow MeSO_3\downarrow$;

б) $Me^{2+} + S^{2-} \rightarrow MeS\downarrow$;

в) $2H^+ + MeCO_3 \rightarrow H_2O + CO_2\uparrow + Me^{2+}$;

г) $Me^{2+} + 2OH^- \rightarrow Me(OH)_2\downarrow$;

д) $Me^{2+} + CO_3^{2-} \rightarrow MeCO_3\downarrow$;

е) $Me(OH)_3 + 3H^+ \rightarrow 3H_2O + Me^{3+}$;

ж) $HSO_3^- + H^+ \rightarrow H_2O + SO_2\uparrow$;

з) $HS^- + OH^- \rightarrow H_2O + S^{2-}$.

364. Составьте уравнения реакций, протекающих без изменения степеней окисления, в соответствии со схемой:

$$\begin{array}{ccccccccc} & & B_3 & & A_4 & & B_5 & & A_6 & & B_7 \\ & & \uparrow & & \uparrow & & \uparrow & & \uparrow & & \uparrow \\ A_1 & \rightarrow & B_1 & \rightarrow & A_2 & \rightarrow & B_2 & \rightarrow & A_3 \\ & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow \\ & & B_4 & & A_5 & & B_6 & & A_7 & & B_8 \end{array}$$

A — растворимые соли; B — нерастворимые соли.

365. Имеется водный раствор смеси сульфида калия и хлорида калия. Какие вещества будут вступать в обменные реакции: а) с обоими анионами; б) только с одним анионом? Напишите уравнения реакций в ионно-молекулярном виде.

366. Имеется водный раствор смеси хлорида меди (II) и бромида железа (III). Какие реагенты будут вступать в обменные реакции: а) с обоими катионами; б) с обоими анионами? Напишите уравнения реакций в ионно-молекулярном виде.

367. Имеется водный раствор смеси сульфата железа (II) и нитрата аммония. Какие реагенты будут вступать в обменные реакции: а) с одним из анионов; б) с одним из катионов? Напишите уравнения реакций в ионно-молекулярном виде.

368. Имеется водный раствор смеси нитрата магния и хлорида бария. Какие реагенты будут вступать в обменные реакции: а) с обоими катионами; б) с одним из катионов? Напишите уравнения реакций в ионно-молекулярном виде.

369. Имеется водный раствор смеси нитрата аммония, сульфата натрия и хлорида калия. Какие реактивы надо добавить к этому раствору, чтобы только один из ионов смеси прореагиро-

вал: а) с выделением газа; б) с образованием осадка? Напишите уравнения реакций в ионно-молекулярном виде.

370. Имеется водный раствор смеси карбоната аммония, сульфита калия и хлорида натрия. Какие реактивы надо добавить к этому раствору, чтобы только: а) один из ионов смеси прореагировал с выделением газа; б) два иона прореагировали с выделением газа; в) два иона прореагировали с образованием осадка; г) три иона прореагировали с образованием осадка? Напишите уравнения реакций в ионно-молекулярном виде.

371. Имеется водный раствор смеси нитрата магния, хлорида бария и бромида железа (III). Какие реактивы надо добавить к этому раствору, чтобы в состав нерастворимых соединений: а) перешел только один катион; б) перешли два катиона; в) перешли все три катиона? Напишите уравнения реакций в ионно-молекулярном виде.

372. Имеется водный раствор смеси сульфида бария и гидроксида кальция. Какое одно вещество надо добавить к этому раствору, чтобы в состав нерастворимых соединений перешли оба катиона и оба аниона? Напишите уравнения реакций.

373. Приведите по одному примеру реакций, протекающих в водной среде между: а) слабой кислотой и сильным основанием; б) сильной кислотой и сильным основанием; в) слабой кислотой и слабым основанием; г) слабым основанием и сильной кислотой. Составьте уравнения реакций в молекулярном и ионном виде.

374. Приведите по одному примеру реакций, протекающих в водной среде между: а) одноосновной кислотой и растворимой солью; б) двухосновной сильной кислотой и нерастворимой солью. Составьте уравнения реакций в молекулярном и ионном виде.

375. Приведите пример обменной реакции между основанием и кислотным оксидом, которая может окончиться образованием двух разных продуктов. Составьте молекулярные и ионные уравнения.

376. Приведите три реакции, не заканчивающиеся образованием осадка, которые могут протекать в водном растворе между следующими веществами: нитратом бария, гидроксидом натрия, сульфатом магния, соляной кислотой, гидрофосфатом натрия, сульфатом калия.

377. Приведите четыре реакции, не заканчивающиеся образованием осадка, которые могут протекать в водном растворе между следующими веществами: гидрокарбонатом натрия, хлоридом бария, нитратом аммония, соляной кислотой, гидроксидом натрия, сульфатом калия.

378. Приведите вариант соответствия букв X, Y, Z элементам для уравнения:

$$X(YZ)_2 + FeSZ_4 \rightarrow XSZ_4\downarrow + Fe(YZ)_2\downarrow$$

Приведите уравнение реакции с участием $X(YZ)_2$, в ходе которой образуется кислая соль.

379. К водному раствору, содержащему смесь аммиака и гидроксида натрия, постепенно добавляют соляную кислоту. Какие вещества могут одновременно находиться в растворе (приведите несколько возможных комбинаций)?

380. Через водный раствор, содержащий смесь азотной и уксусной кислот, пропускают газообразный аммиак. Какие вещества могут одновременно находиться в растворе (приведите несколько возможных комбинаций)?

381. К водному раствору, содержащему дигидрофосфат калия, постепенно добавляют гидроксид калия. Какие вещества могут одновременно находиться в растворе (приведите несколько возможных комбинаций)?

382. К водному раствору, содержащему гидрофосфат натрия, постепенно добавляют серную кислоту. Какие вещества могут одновременно находиться в растворе (приведите несколько возможных комбинаций)?

383. Приведите примеры средних солей, водные растворы которых окрашивают лакмус в синий цвет; в красный цвет.

384. Водный раствор соли А окрашивает лакмус в синий цвет, а раствор соли В — в красный. При смешении растворов этих двух солей образуется осадок. Приведите возможные формулы солей А и В и уравнение реакции между ними.

385. Водный раствор соли А окрашивает лакмус в синий цвет, а раствор соли В — в фиолетовый. При смешении растворов этих двух солей образуется осадок. Приведите возможные формулы солей А и В и уравнение реакции между ними.

386. Водный раствор соли А окрашивает лакмус в фиолетовый цвет, а раствор соли В — в красный. При смешении растворов этих двух солей образуется осадок. Приведите возможные формулы солей А и В и уравнение реакции между ними.

387. Водные растворы двух разных солей окрашивают по отдельности лакмус в синий цвет. При смешении растворов этих двух солей образуется осадок. Приведите возможные формулы солей и уравнение реакции между ними.

388. С помощью какого одного реактива можно различить растворы сульфата калия, сульфата цинка и сульфита калия?

389. С помощью какого одного реактива можно различить растворы сульфида натрия, сульфата натрия и сульфата алюминия?

390. Имеются водные растворы сульфата аммония, иодида натрия, карбоната калия, ацетата бария, нитрата кальция. Какую соль можно обнаружить с помощью только лакмуса? Приведите необходимые пояснения и уравнения реакций.

391. Имеются водные растворы следующих солей: нитрата аммония, хлорида натрия, сульфата алюминия, ацетата калия, хлорида бария и иодида кальция. Какую соль можно обнаружить с помощью только лакмуса? Приведите необходимые пояснения и уравнения реакций.

392. В трех пробирках находятся водные растворы смеси солей: а) ацетат калия + иодид кальция; б) хлорид алюминия + сульфат натрия; в) бромид аммония + нитрат бария. Какой раствор можно надежно определить, имея только лакмус?

393. К избытку водного раствора сульфида натрия добавили небольшую массу иодида алюминия. Какие ионы находятся в растворе? Ответ подтвердите уравнением реакции.

394. К избытку водного раствора бромида хрома (III) добавили небольшую массу карбоната калия. Какие ионы находятся в растворе? Ответ подтвердите уравнением реакции.

395. Приведите три реакции, заканчивающиеся в водной среде образованием осадка, которые могут протекать между следующими веществами: хлоридом алюминия, нитратом аммония, карбонатом калия, нитратом бария, гидроксидом натрия.

396. Приведите четыре реакции, заканчивающиеся в водной среде образованием осадка, которые могут протекать между следующими веществами: аммиаком, сульфидом натрия, хлоридом аммония, нитратом алюминия, сульфатом железа (II).

397. Имеются вода и сульфат алюминия. Выберите только две соли и получите с использованием четырех веществ, а также продуктов их взаимодействия (без электролиза) следующие вещества: гидроксид алюминия, гидросульфид калия, сульфат бария, хлорид алюминия.

398. Даны следующие вещества: сульфат железа (III), дисульфид железа (II), азотная кислота (разбавленная), гидроксид бария, железо, карбонат меди (II), оксид кремния (IV). Напишите не менее трех обменных реакций, протекающих попарно между предложенными веществами в водной среде.

399. Даны следующие вещества: азотная кислота, гидрофосфат аммония, цинк, медь, гидроксид бария, оксид кремния, хлорид калия, нитрат натрия. Напишите не менее трех обменных реакций, протекающих попарно между этими веществами в водной среде.

400. Даны водные растворы сульфата железа (II), аммиака, нитрата меди (II), азотной кислоты, а также соляная кислота, оксид кремния (IV) и сульфид железа (II). Напишите пять реакций, в ходе которых не меняются степени окисления элементов, протекающих попарно между предложенными веществами.

401. В пробирках содержатся бесцветные растворы трех средних солей; один из растворов имеет кислую реакцию среды, другой — нейтральную, а третий — щелочную. Какие соли могут содержаться в этих пробирках (предложите один вариант

ответа), если дополнительно известно, что при смешении содержимого двух пробирок происходит одновременно выпадение осадка и выделение газа?

402. В трех пробирках содержатся бесцветные растворы. В каждую из них добавили по одному водному раствору в избытке: в первую — нитрат бария; во вторую — гидроксид бария; в третью — соляную кислоту. Во всех случаях наблюдались разные по характеру признаки протекания реакций. Предложите один из вариантов ответа, если дополнительно известно, что при смешении содержимого двух пробирок (до добавления реагента) видимых изменений не произошло.

403. В трех пробирках имеются бесцветные растворы разных солей. При попарном смешении содержимого пробирок в каждом из трех случаев происходит образование белых осадков, два из которых растворяются в соляной кислоте, а третий — нет. Предложите один из вариантов ответа относительно того, каким могло быть содержимое пробирок.

404. В трех пробирках находятся растворы трех солей (катионы и анионы, их образующие, не повторяются). Элементы, входящие в состав ионов, в периодической системе имеют порядковые номера от 7 до 19. При смешении вместе всех растворов видимых изменений не происходит. Предложите один из вариантов ответа относительно того, каким могло быть содержимое пробирок.

405. В трех пробирках находятся бесцветные растворы кислых солей. Содержимое каждой пробирки разделили поровну; к одной из порций добавили щелочь и слегка нагрели; к другой порции — соляную кислоту. Результаты получились следующими: в первой пробирке газообразные продукты выделились в обоих случаях, во второй — только при добавлении щелочи, а в третьей — только при добавлении кислоты. Предложите вариант ответа относительно того, каким может быть содержимое пробирок. Напишите уравнения реакций.

406. В трех пробирках содержатся бесцветные растворы. В каждую из них добавили по водному раствору в избытке: в первую — хлорид натрия; во вторую — соляную кислоту; в третью — нитрат серебра. Во всех случаях наблюдались разные по характеру признаки протекания реакций. Предложите один из вариантов ответа, если дополнительно известно, что при смешении содержимого двух пробирок (до добавления реагента) видимых изменений не произошло.

407. К водному раствору двух солей (все ионы разные) добавили избыток гидроксида калия, образовавшийся осадок отделили от раствора. К новому раствору добавили избыток серной кислоты. В надосадочной жидкости оказались ионы: Cl^-, NO_3^-, SO_4^{2-}, H^+ и еще один ион. Установите, какой это ион, и определите, какие вещества находились в исходном растворе

(два варианта ответа), если известно, что один из осадков представлял собой сульфат бария, а другой — гидроксид железа (III).

408. К водному раствору двух солей (все ионы разные) добавили избыток нитрата бария, образовавшийся осадок отделили от раствора. К новому раствору добавили избыток аммиака. В надосадочной жидкости, кроме аммиака и иона калия, оказался еще один ион. Установите, какой это ион, и определите, какие вещества находились в исходном растворе (два варианта ответа), если известно, что один из осадков представлял собой сульфат бария, а другой — гидроксид железа (III).

409. К раствору двух солей (все ионы разные) добавили избыток нитрата серебра, образовавшийся осадок отделили от раствора. Новый раствор обработали избытком гидроксида калия при нагревании, при этом выделился газ и образовался осадок. В надосадочной жидкости, кроме ионов Ba^{2+}, K^+ и OH^-, оказался еще один ион. Установите, какой это ион, и определите, какие соли находились в исходном растворе (два варианта ответа), если известно, что один из осадков представлял собой бромид серебра, а другой — оксид серебра.

1.5. СТЕХИОМЕТРИЯ

Стехиометрия — раздел химии, изучающий количественные отношения между участниками реакции. Количества веществ реагентов и продуктов находятся в стехиометрических отношениях, которые фиксируются коэффициентами в уравнениях химических реекций. Можно рассчитать, например, для условной реакции

$$a\mathrm{A} + b\mathrm{B} \rightarrow d\mathrm{D} + f\mathrm{F}$$

1) количество вещества одного реагента по известному количеству вещества другого реагента:

$$\nu(\mathrm{B}) = \frac{b}{a}\nu(\mathrm{A}) \text{ или } \nu(\mathrm{A}) = \frac{a}{b}\nu(\mathrm{B});$$

2) количество вещества одного из продуктов по известному количеству вещества одного из реагентов:

$$\nu(\mathrm{D}) = \frac{d}{a}\nu(\mathrm{A}); \quad \nu(\mathrm{D}) = \frac{d}{b}\nu(\mathrm{B}); \quad \nu(\mathrm{F}) = \frac{f}{a}\nu(\mathrm{A}); \quad \nu(\mathrm{F}) = \frac{f}{b}\nu(\mathrm{B});$$

3) количество вещества одного продукта по известному количеству вещества другого продукта:

$$\nu(\mathrm{F}) = \frac{f}{d}\nu(\mathrm{D}) \text{ или } \nu(\mathrm{D}) = \frac{d}{f}\nu(\mathrm{F});$$

4) количество вещества одного из реагентов по известному количеству вещества одного из продуктов:

$$\nu(A)=\frac{a}{d}\nu(D);\quad \nu(A)=\frac{a}{f}\nu(F);\quad \nu(B)=\frac{b}{d}\nu(D);\quad \nu(B)=\frac{b}{f}\nu(F).$$

В некоторых случаях в условии задачи указаны количества веществ обоих реагентов. Это бывает связано с тем, что в ходе реакции могут образовываться альтернативные продукты, или же с тем, что один из реагентов взят в избытке.

Альтернативные продукты могут образовываться преимущественно в двух случаях: а) образование кислых или средних солей; б) частичное растворение осадка за счет амфотерных свойств образующихся гидроксидов. В этом случае необходимо рассмотреть все возможные уравнения, затем установить соответствие отношения $\nu(B):\nu(A)$ стехиометрии одного из рассмотренных уравнений.

Если образование альтернативных продуктов невозможно, следует установить, какой из реагентов был взят в избытке. Для этого составляется шаблон сравнения (без знака равенства):

$$\nu(B)\ \frac{b}{a}\ \nu(A),$$

затем рассчитываются количества веществ B и A по данным задачи; количество вещества A умножается на коэффициент b/a, после чего сравниваются полученные значения:

$$\nu(B) > \frac{b}{a}\nu(A); \qquad \nu(B) < \frac{b}{a}\nu(A)$$

в избытке B **в избытке A**

Стехиометрический расчет проводится только по тому веществу, которое не находилось в избытке, т. е. прореагировало полностью.

Пример 16. Вычислите объем углекислого газа (н. у.), который образуется при добавлении избытка раствора гидросульфата калия к 50,0 г образца малахита, содержащего 15,0% некарбонатных примесей.

Решение. Между веществами протекает реакция

$$(CuOH)_2CO_3+4KHSO_4\rightarrow 2CuSO_4+2K_2SO_4+CO_2\uparrow+3H_2O$$

В образце малахита содержится основного карбоната меди $100\%-15\%=85\%$.

Вычислим массу основного карбоната меди:

$m((CuOH)_2CO_3)=m(\text{малахит})\omega((CuOH)_2CO_3)=50{,}0\cdot 0{,}85=42{,}5$ г,

а затем — количество вещества:

$$\nu((CuOH)_2CO_3)=m((CuOH)_2CO_3):M((CuOH)_2CO_3);$$

$$\nu((CuOH)_2CO_3) = 42{,}5 : 222 = 0{,}1914 \text{ моль}.$$

По уравнению реакции

$$\nu(CO_2) = \nu((CuOH)_2CO_3) = 0{,}1914 \text{ моль}.$$

Теперь можем рассчитать объем выделяющегося газа:

$$V(CO_2) = \nu(CO_2)V_m = 0{,}1914 \cdot 22{,}4 = 4{,}29 \text{ л}.$$

Пример 17. Какой максимальный объем сероводорода (н. у.) может поглотить раствор массой 50,0 г, массовая доля в котором гидроксида калия и гидроксида натрия составляет по 20,0%?

Решение. Рассчитаем количества веществ щелочей в растворе:

$$\nu(X) = \frac{m(\text{р-р})\omega(X)}{M(X)}; \quad \nu(NaOH) = \frac{50 \cdot 0{,}2}{40} = 0{,}25 \text{ моль};$$

$$\nu(KOH) = \frac{50 \cdot 0{,}2}{56} = 0{,}1786 \text{ моль}.$$

Найдем суммарное количество вещества ионов OH^-:

$$\nu(OH^-)_{сумм} = \nu(KOH) + \nu(NaOH) = 0{,}1786 + 0{,}25 = 0{,}4286 \text{ моль}.$$

Сероводород реагирует со щелочью либо с образованием кислой соли, либо средней. Запишем уравнения в ионном виде:

$$H_2S + OH^- \rightarrow HS^- + H_2O \quad (I)$$

$$H_2S + 2OH^- \rightarrow S^{2-} + H_2O \quad (II)$$

Из представленных уравнений видно, что в реакции (I) поглощается в 2 раза больше сероводорода, чем в реакции (II). Расчет, следовательно, следует вести по уравнению (I):

$$\nu(H_2S) = \nu(OH^-)_{сумм} = 0{,}4286 \text{ моль};$$

$$V(H_2S) = V_m\nu(H_2S) = 22{,}4 \cdot 0{,}4286 = 9{,}60 \text{ л},$$

т. е. данный раствор может максимально поглотить 9,60 л сероводорода.

Пример 18. Додекагидрат сульфата алюминия-калия массой 71,1 г растворили в 800 мл воды. К полученному раствору добавили 70,0 г 40,0%-го раствора гидроксида калия. Вычислите массовую долю ионов калия в полученном растворе.

Решение. Чтобы рассчитать массовую долю ионов K^+ в полученном растворе, необходимо знать массы ионов K^+ и полученного раствора. Масса ионов K^+ равна сумме ионов калия в реагентах, так как калий в данном случае не образует нерастворимых соединений, и все ионы K^+ находятся в растворе.

Рассчитаем количество вещества соли:

$$\nu(\text{соль}) = m(\text{соль}) : M(\text{соль}); \quad \nu(\text{соль}) = 71{,}1 : 474 = 0{,}15 \text{ моль},$$

тогда

$$\nu(K^+ \text{ в соли}) = \nu(\text{соль}) = 0{,}15 \text{ моль}.$$

Рассчитаем количество вещества KOH:

$$\nu(\text{KOH}) = \frac{m(\text{р-р})\,\omega(\text{KOH})}{M(\text{KOH})};\quad \nu(\text{KOH}) = \frac{70 \cdot 0{,}4}{56} = 0{,}5 \text{ моль}.$$

Количество вещества ионов K^+ равно количеству вещества щелочи, т. е. 0,5 моль, а $\nu(K^+)_{\text{сумм}} = 0{,}15 + 0{,}5 = 0{,}65$ моль.

Рассчитаем суммарную массу ионов калия:

$$m(K^+) = M(K^+)\,\nu(K^+) = 39 \cdot 0{,}65 = 25{,}35 \text{ г}.$$

Масса раствора зависит от того, какая образуется масса нерастворимого гидроксида алюминия.

В растворе могут протекать следующие реакции:

$$Al^{3+} + 3OH^- \rightarrow Al(OH)_3\downarrow \qquad (I)$$

$$Al^{3+} + 4OH^- \rightarrow [Al(OH)_4]^- \qquad (II)$$

Вычислим количества веществ реагирующих ионов:

$$\nu(Al^{3+}) = \nu(\text{соль}) = 0{,}15 \text{ моль};\ \nu(OH^-) = \nu(\text{KOH}) = 0{,}5 \text{ моль}.$$

Для завершения реакции (I) необходимо, чтобы $\nu(OH^-)/\nu(Al^{3+}) = 3$; для реакции (II) $\nu(OH^-)/\nu(Al^{3+}) = 4$.

По условию задачи, $\nu(OH^-)/\nu(Al^{3+}) = 0{,}5/0{,}15 = 3{,}33$; это значит, что реакция (I) прошла полностью, а реакция (II) — частично. Выполним расчет в соответствии с стехиометрическими соотношениями:

$$\nu(Al(OH)_3)_{\text{обрI}} = \nu(Al^{3+}) = 0{,}15 \text{ моль};$$

$$\nu(OH^-)_{\text{встI}} = 3\nu(Al^{3+}) = 3 \cdot 0{,}15 = 0{,}45 \text{ моль};$$

$$\nu(OH^-)_{\text{остI}} = 0{,}5 - 0{,}45 = 0{,}05 \text{ моль}.$$

Образовавшийся в реакции (I) $Al(OH)_3$ частично растворится в оставшейся щелочи по уравнению

$$Al(OH)_3 + OH^- \rightarrow [Al(OH)_4]^- \qquad (III)$$

Молярное соотношение реагирующих веществ равно 1:1, следовательно,

$$\nu(Al(OH)_3)_{\text{встIII}} = \nu(OH^-)_{\text{остI}} = 0{,}05 \text{ моль}.$$

Рассчитаем количество вещества, а затем и массу нерастворившегося гидроксида алюминия:

$$\nu(Al(OH)_3)_{\text{ост}} = \nu(Al(OH)_3)_{\text{обрI}} - \nu(Al(OH)_3)_{\text{встIII}} = 0{,}15 - 0{,}05 = 0{,}1 \text{ моль};$$

$$m(Al(OH)_3)_{\text{ост}} = M(Al(OH)_3 \cdot \nu(Al(OH)_3)_{\text{ост}} = 78 \cdot 0{,}1 = 7{,}8 \text{ г}.$$

Рассчитаем массу полученного раствора:

$$m(\text{р-ра})_{\text{итог}} = m(\text{соль}) + m(H_2O) + m(\text{KOH, р-р}) - m(Al(OH)_3)_{\text{ост}} =$$

$$= 71{,}1 + 800 + 70 - 7{,}8 = 933{,}3 \text{ г};$$

$$\omega(K^+) = m(K^+) : m(\text{р-ра})_{\text{итог}} = 25{,}35 : 933{,}3 = 0{,}0272,$$

т. е. массовая доля ионов калия в полученном растворе равна 2,72%.

Пример 19. Сульфат хрома (III) массой 78,4 г растворили в достаточном объеме воды. К полученному раствору добавили 100 мл 16,0%-го раствора аммиака (пл. 0,934 г/мл). Образовавшийся осадок отфильтровали и прокалили до постоянной массы. Вычислите массу полученного сухого остатка.

Решение. В условии задачи имеется информация о количестве вещества обоих реагентов. В реакции между сульфатом хрома и аммиаком альтернативные продукты не образуются:

$$Cr_2(SO_4)_3 + 6NH_3 + 6H_2O \rightarrow 2Cr(OH)_3\downarrow + 3(NH_4)_2SO_4$$

Чтобы определить, какой из реагентов был в избытке, рассчитаем их количества веществ:

$$\nu(Cr_2(SO_4)_3) = m(Cr_2(SO_4)_3) : M(Cr_2(SO_4)_3);$$

$$\nu(Cr_2(SO_4)_3) = 78{,}4 : 392 = 0{,}2 \text{ моль};$$

$$\nu(NH_3) = \frac{V(NH_3,\ \text{р-р})\,\rho\omega(NH_3)}{M(NH_3)};$$

$$\nu(NH_3) = \frac{100 \cdot 0{,}934 \cdot 0{,}16}{17} = 0{,}8791 \text{ моль}.$$

Поскольку $\nu(NH_3) < 6\nu(Cr_2(SO_4)_3)$, так как $0{,}8791 < 6 \cdot 0{,}2$, количество вещества $Cr(OH)_3$ будет определяться количеством вещества аммиака, так как он прореагировал полностью:

$$\nu(Cr(OH)_3) = {}^1/_3\nu(NH_3);$$

$$\nu(Cr(OH)_3) = {}^1/_3 \cdot 0{,}8791 = 0{,}293 \text{ моль}.$$

Гидроксид хрома при нагревании разлагается на оксид и воду (это общее свойство нерастворимых гидроксидов металлов):

$$2Cr(OH)_3 \rightarrow Cr_2O_3 + 3H_2O$$

В соответствии с уравнением реакции

$$\nu(Cr_2O_3) = 0{,}5\nu(Cr(OH)_3) = 0{,}5 \cdot 0{,}293 = 0{,}1465 \text{ моль};$$

$$m(Cr_2O_3) = 152 \cdot 0{,}1465 = 22{,}3 \text{ г}.$$

Таким образом, масса остатка составит 22,3 г.

ЗАДАЧИ

Простейшие стехиометрические расчеты

410. Какая масса кальция вступит в реакцию при нагревании с хлором: а) количеством вещества 2,00 моль; б) массой 2,00 г; в) объемом 2,00 л (н.у.)?

411. Карбонат магния вступил в реакцию с избытком соляной кислоты, при этом выделилось 0,560 л газа (н. у.). Вычислите массу образовавшейся при этом соли.

412. Какая масса нитрида кальция Ca_3N_2 образуется при сжигании кальция в порции азота, содержащей: а) $1{,}50 \cdot 10^{22}$ молекул; б) $1{,}50 \cdot 10^{23}$ атомов; в) $1{,}50 \cdot 10^{24}$ электронов?

413. К 50,0 мл раствора нитрата серебра с концентрацией 0,0100 моль/л добавили избыток бромида калия. Вычислите массу образовавшегося осадка.

414. В воде растворили 28,2 г оксида калия, объем раствора довели до 250 мл. Вычислите молярную концентрацию щелочи в растворе.

415. Вычислите массовые доли веществ в растворе, полученном добавлением 4,5 г оксида лития к 100 мл воды.

416. Какой объем 40,0%-го раствора нитрата кальция (пл. 1,37 г/мл) требуется для осаждения 5,90 г фторида кальция из раствора, содержащего фторид-ионы?

417. Вычислите массовые доли веществ в растворе, полученном осторожным добавлением 3,00 г натрия к 50,0 мл воды.

418. Оксид серы (VI) массой 20,0 г растворили в 150 г 15,0%-го раствора серной кислоты. Вычислите массовые доли веществ в получившемся растворе.

419. К 75,0 г 5,00%-го раствора азотной кислоты добавили 37,8 г оксида азота (V). Вычислите массовые доли веществ в получившемся растворе.

420. В 560 мл 10,0%-го раствора гидроксида натрия (пл. 1,11 г/мл) растворили натрий, при этом выделилось 5,60 л водорода (н.у.). Вычислите массовые доли веществ в растворе по окончании реакции.

421. Растворимость гидроксида кальция при 20 °С составляет 1,50 г в 1,00 л воды. Какая максимальная масса оксида кальция может раствориться в 175 г воды?

422. Декагидрат карбоната натрия обработали раствором азотной кислоты массой 150 г, при этом выделилось 2,67 л углекислого газа (н.у.). Вычислите массовую долю азотной кислоты в исходном растворе.

423. Для полной нейтрализации 10,0 г раствора серной кислоты потребовалось 10,0 г 5,60%-го раствора гидроксида калия. Чему была равна массовая доля кислоты в исходном растворе?

Стехиометрические расчеты с учетом примесей и выхода реакции

424. Технический цинк массой 150 г, с массовой долей примеси оксида 1,00%, обработали избытком соляной кислоты. Вычислите объем выделившегося газа (н. у.).

425. Образец карбоната кальция массой 20,0 г, загрязненный сульфатными примесями, обработали избытком азотной кислоты. Объем образовавшегося газа, измеренный при 25 °С и нор-

мальном давлении, составил 4,66 л. Вычислите массовую долю примесей в исходном образце.

426. Технический образец сульфида железа (II) массой 25,0 г, содержащий 2,50% примесей, обработали избытком разбавленного раствора серной кислоты. Выделившийся газ пропустили через избыток раствора нитрата свинца (II). Вычислите массу выделившегося осадка.

427. Какая масса образца иодида калия, загрязненного примесью нитрата калия (массовая доля его равна 3,00%) была обработана избытком нитрата серебра, если при этом образовалось 47,0 мг осадка?

428. Образец сульфида алюминия, загрязненный сульфидом цинка (массовая доля 0,00200), обработали избытком воды. Образовавшийся газ полностью прореагировал с хлоридом меди (II) в водном растворе, при этом выпало 5,28 г осадка. Чему была равна масса взятого образца сульфида алюминия?

429. Образец хлорида бария, загрязненный хлоридом натрия, обработали в водном растворе избытком сульфита натрия. Выпавший осадок отфильтровали и затем обработали избытком бромоводородной кислоты. Объем выделившегося газа оказался равным 4,09 л (н. у.). Вычислите массовую долю основного вещества в образце, которого взяли 40,0 г.

430. При нагревании при 1000 °С 12,6 г гидрида кальция CaH_2 получили два простых вещества, объем водорода составил при этой температуре и нормальном давлении 29,3 л. Вычислите выход (%) реакции разложения.

431. Оксид кальция массой 0,160 кг нагрели до 1200 °С с достаточной массой оксида кремния (IV). Масса образовавшегося силиката кальция оказалась равной 0,256 кг. Вычислите выход (%) реакции соединения.

432. Нагревая при 250 °С оксид серебра (I) массой 58,0 мг, получили порцию газа, в которой число молекул равно $6{,}02 \cdot 10^{19}$. Вычислите выход (%) реакции разложения.

433. Пары брома объемом 2,50 л смешали с избытком водорода, в результате из смеси выделили 4,00 л бромоводорода. Вычислите выход (%). Объемы газов измерялись при одинаковых условиях.

434. При термическом разложении не загрязненного примесями карбоната кальция образовалось 8,00 г оксида кальция. Известно, что реакция прошла с выходом 85,0%. Вычислите массу карбоната кальция, взятого для проведения реакции разложения, и объем (н. у.) образовавшегося углекислого газа.

435. Рассчитайте массу оксида магния, которая образовалась при нагревании 50,0 г гидроксида магния (реакция разложения прошла с выходом 95,5%).

436. Нитрид магния Mg_3N_2 массой 15,0 г, содержащий примесь оксида магния (массовая доля 1,50%), обработали избытком воды; выделившийся аммиак полностью собрали и подвергли разложению на простые вещества, которое прошло с выходом 70,0%. Вычислите массу водорода и объем азота (н. у.), которые образовались во второй реакции.

437. Образец карбоната бария массой 100 г, содержащий не разлагающиеся в условии опыта примеси, подвергли термическому разложению, которое прошло с выходом 75,0%. Вычислите объем образовавшегося углекислого газа при 273 К и давлении 95,1 кПа, а также массу твердого остатка. Массовая доля основного вещества в образце равнялась 96,5%.

438. Образец гидроксида железа (II) массой 50,0 г, содержащий примесь воды (массовая доля 1,00%), разложили с выходом 99,0%. *Во сколько раз число атомов кислорода в полученном твердом остатке больше числа атомов водорода?*

439. Реакция синтеза иодоводорода из простых веществ при определенных условиях проходит с выходом 35,0%. Вычислите, какую массу технического цинка, содержащего 2,50% примесей, нужно обработать избытком соляной кислоты, чтобы из полученного водорода получить в конечном счете 1,00 л (н. у.) иодоводорода.

Стехиометрические расчеты для систем с избытком одного из реагентов

440. В закрытом сосуде смешали при одинаковых условиях 10,0 л водорода и 5,00 л хлора. Через смесь пропустили электрический разряд. Вычислите объемные доли веществ в образовавшейся после взрыва смеси.

441. В закрытом сосуде смешали при одинаковых условиях 10,0 л хлора и 5,00 л водорода. Через смесь пропустили электрический разряд. Вычислите массовые доли веществ в образовавшейся после взрыва смеси.

442. В закрытом сосуде смешали кислород и оксид азота (II) в соотношении по объему 1:4. Вычислите в образовавшейся смеси объемную долю оксида азота (IV).

443. Какое количество вещества хлорида аммония образуется, если смешать находящийся при 25 °С и давлении 95,0 кПа аммиак объемом 13,0 л и хлороводород объемом 11,8 л, находящийся при той же температуре и давлении 105 кПа?

444. К соляной кислоте, содержащей 0,250 моль хлороводорода, добавили 6,00 г 50%-го раствора гидроксида натрия. Какая реакция среды (кислая, нейтральная, щелочная) будет у получившегося раствора?

445. Гидроксид алюминия массой 11,7 г обработали раствором серной кислоты объемом 45,0 мл ($c = 5{,}00$ моль/л). Какая реакция среды (кислая, нейтральная, щелочная) будет у получившегося раствора?

446. К сульфиду калия массой 3,30 г, находящемуся в водном растворе, добавили 0,02 моль гексагидрата хлорида меди (II). Вычислите массу образовавшегося осадка.

447. Смешали 52,6 мл 25,0%-го раствора сульфата алюминия (пл. 1,30 г/мл) и 135 мл 14,0%-го раствора хлорида бария (пл. 1,10 г/мл). Вычислите массу образовавшегося осадка.

448. Смешали 50,0 мл раствора хлорида кальция с концентрацией 2,00 моль/л и 80,0 мл раствора фосфата калия с концентрацией 1,00 моль/л. Вычислите массу образовавшегося осадка.

449. Сульфид железа (II) массой 17,6 г обработали 7,30%-й соляной кислотой массой 150 г. Вычислите массу выделившегося газа.

450. К 200 мл раствора азотной кислоты с концентрацией 1,00 моль/л добавили 8,40 г питьевой соды. По окончании реакции раствор упарили до объема 100 мл. Вычислите молярные концентрации всех ионов, находящихся в этом растворе.

451. К 30,4 г 10,0%-го раствора сульфата железа (II) добавили 10,0 мл раствора гидроксида натрия с концентрацией 3,00 моль/л. Вычислите массу образовавшегося осадка.

452. Сплавлению подвергли 5,00 г алюминия и 5,00 г серы; полученную смесь обработали водой. Вычислите массу твердого остатка.

453. В закрытом сосуде при нормальных условиях смешали по 10,0 л водорода и кислорода и 1,00 л хлороводорода. Смесь взорвали. Вычислите массовые доли веществ в получившемся растворе (растворимостью простого вещества пренебречь).

454. Какой объем оксида азота (II) образуется при пропускании через воздух объемом 25,0 л электрического разряда, если реакция проходит с выходом 2,00%? (Объемная доля азота в воздухе равна 79,0%.)

Стехиометрические расчеты для систем с альтернативными реакциями

455. В две колбы поместили по 5,00 мл раствора серной кислоты с концентрацией 1,00 моль/л. В одну из колб добавили 10,0 мл раствора гидроксида калия ($c = 0{,}500$ моль/л), а в другую — 20,0 мл раствора гидроксида бария ($c = 0{,}125$ моль/л). Содержимое обеих колб нагрели, в результате чего получили два сухих остатка. Установите их качественный и количественный (массы) состав.

456. Какой минимальный объем 10,0%-го раствора гидроксида натрия (пл. 1,11 г/мл) потребуется для полного поглощения 112 л (н. у.) углекислого газа?

457. Какой максимальный объем (н. у.) оксида серы (IV) могут поглотить 50,0 мл 30,0%-го раствора гидроксида калия (пл. 1,28 г/мл)?

458. Сероводород объемом 1,00 л (н. у.) растворили в воде, в результате чего образовался водный раствор объемом 1,00 л. Какой объем 0,500 моль/л раствора гидроксида натрия требуется для нейтрализации 50,0 мл раствора сероводорода?

459. Через 50,0 г 15,0%-го раствора гидроксида калия пропустили углекислый газ, после чего масса раствора стала равна 55,9 г. Вычислите массовые доли веществ в полученном растворе.

460. Через 100 мл раствора гидроксида натрия с концентрацией 0,700 моль/л пропустили 1,25 г оксида серы (IV). Вычислите молярные концентрации веществ в получившемся растворе, пренебрегая изменением объема раствора за счет поглощения газа.

461. К 10,0 мл 5,00%-го раствора карбоната натрия (пл. 1,05 г/мл) добавили по каплям 1,00 мл 5,00%-го раствора хлороводорода (пл. 1,03 г/мл). Вычислите массовые доли веществ в полученном растворе.

462. К 80,0 мл раствора дигидрофосфата калия с концентрацией 0,100 моль/л добавили 25,0 мл раствора гидроксида калия с концентрацией 0,160 моль/л. Вычислите количества веществ (кроме воды), находящихся в образовавшемся растворе.

463. К 50,0 мл раствора гидрофосфата натрия с концентрацией 0,200 моль/л добавили 100 мл соляной кислоты с концентрацией хлороводорода, равной 0,0500 моль/л. Вычислите количества веществ (кроме воды), находящихся в образовавшемся растворе.

464. К 0,500 мл раствора фосфорной кислоты с концентрацией 6,00 моль/л добавили 10,0 г насыщенного раствора гидроксида бария (растворимость 3,89 г в 100 г воды). Вычислите количества веществ образовавшихся соединений бария.

465. Смешали 150 г 5,00%-го раствора дигидрофосфата калия и 5,00 г 20,0%-го раствора гидроксида калия. Вычислите массовые доли веществ в получившемся растворе.

466. Через 100 мл раствора фосфорной кислоты с концентрацией 0,300 моль/л пропустили 1008 мл аммиака (н. у.). Вычислите массы солей, образовавшихся в растворе.

467. В 150 мл воды растворили 6,47 г натрия. После окончания реакции в раствор добавили 5,00 г оксида фосфора (V). Рассчитайте массовые доли веществ в получившемся растворе.

468. Смешали 50,0 г раствора гидроксида натрия с массовой долей 10,0% и 100 г раствора гидрокарбоната натрия с массовой

долей 5,00%. Вычислите массовые доли веществ в новом растворе.

469. К 180 г раствора, в котором массовая доля хлорида бария равна 4,62%, а соляной кислоты — 1,85%, добавили постепенно карбонат бария, при этом выделилось 0,448 л углекислого газа (н. у.). Вычислите массовые доли веществ в образовавшемся растворе.

470. Через 48,5 г насыщенного раствора гидроксида бария (растворимость равна 5,585 г в 100 г воды) пропустили углекислый газ, при этом образовался осадок массой 0,985 г. Массовая доля ионов бария в надосадочной жидкости составила 2,818%. Как изменится масса осадка при пропускании дополнительно 22,4 мл (н. у.) углекислого газа?

471. Через 30,0 г раствора фосфорной кислоты с молярной концентрацией 1,96 моль/л (пл. 1,11 г/мл) пропустили при н. у. аммиак. В сухом остатке, полученном после удаления всей воды, в том числе кристаллизационной, массовая доля азота оказалась больше 18%, а массовая доля кислорода — больше 50%. Вычислите диапазон допустимых значений объема аммиака.

1.6. ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ

Степень окисления — величина, численно равная заряду на атоме в сложном веществе при условии смещения всех общих электронных пар к атомам более электроотрицательных элементов, т. е. степень окисления рассчитывается из предположения, что все ковалентные связи стали ионными. Поскольку такое предположение является условным, следовательно, и степень окисления — величина формальная, не отражающая реальных соотношений зарядов атомов в молекуле. Однако это понятие применяется в некоторых логических построениях (классификация соединений, вычисление коэффициентов в уравнениях и т. д.). Степень окисления элементов в простых веществах равна 0.

Наиболее часто встречающиеся степени окисления (кроме 0):

Водород (−1, +1)
Кислород (−2, −1)
Галогены (−1, +1, +5)
Сера (−2, −1, +4, +6)
Азот (−3, +1, +2, +3, +4, +5)
Фосфор (−3, +3, +5)
Углерод (−4, −1, +2, +4)
Кремний (−4, +4)
Железо (+2, +3)
Медь (+1, +2)
Хром (+2, +3, +6)
Марганец (+2, +4, +6, +7)
Серебро (+1)

Натрий и калий имеют в соединениях постоянную степень окисления +1, магний, кальций, барий и цинк +2, алюминий +3.

Основным признаком *окислительно-восстановительных реакций* является изменение степеней окисления элементов, причем обязательно должно происходить и повышение степени окисления какого-либо атома (процесс окисления), и понижение степени окисления какого-либо атома (процесс восстановления).

Окислителем называют атом, понижающий степень окисления. Условно считают, что этот атом принимает определенное число электронов (это представление так же формально, как и само понятие степени окисления). Например, атом марганца меняет степень окисления от +7 до +4: $\overset{+7}{Mn} + 3\dot{e} \rightarrow \overset{+4}{Mn}$. Окислителем называют часто также и группу атомов, в состав которой входит атом-окислитель, например, ион MnO_4^-, и все вещество, например перманганат калия $KMnO_4$.

Наиболее часто встречающиеся окислители содержат элемент в высшей степени окисления (ион H^+, т. е. практически все кислоты, $KMnO_4$, $K_2Cr_2O_7$, SO_3, нитраты) или в достаточно высокой степени окисления ($KClO_3$, соединения Fe(III) и меди (II), MnO_2, Ag_2O), а также простые вещества, образованные атомами электроотрицательных элементов (кислород, галогены). В процессе электролиза окислителем является анод (положительно заряженный электрод, реально принимающий электроны).

Восстановителем называют атом, повышающий степень окисления, т. е. «отдающий» электроны. Например, атом марганца меняет степень окисления от 0 до +2: $\overset{0}{Mn} - 2e^- \rightarrow \overset{+2}{Mn}$.

Наиболее часто встречающиеся восстановители содержат элемент в низшей степени окисления (гидрид-ион H^-, галогенид-ионы, сульфид-ион, практически все металлы в свободном состоянии). В процессе электролиза окислителем является катод (отрицательно заряженный электрод, реально отдающий электроны).

В ходе окислительно-восстановительных реакций окислитель восстанавливается и окисляет восстановитель. Восстановитель же соответственно окисляется и восстанавливает окислитель.

Большинство веществ обладает окислительно-восстановительной двойственностью, т. е. способностью выступать как в роли окислителя, так и в роли восстановителя. Это обусловлено двумя причинами:

1) вещество содержит элементы в промежуточных степенях окисления;

2) в окислительно-восстановительных процессах могут принимать участие как электроположительная составляющая (реальный или условный катион), так и электроотрицательная (реальный или условный анион).

Например: 1. Оксид серы SO_2 и оксид азота NO_2 содержат элементы в промежуточных степенях окисления (в обоих случаях $+4$). Для $\overset{+4}{S}$ возможны процессы:

$$\overset{+4}{S} + 6e^- \rightarrow \overset{-2}{S} \text{ (восстановление; } \overset{+4}{S} \text{ — окислитель)}$$

и

$$\overset{+4}{S} - 2e^- \rightarrow \overset{+6}{S} \text{ (окисление; } \overset{+4}{S} \text{ — восстановитель).}$$

Для $\overset{+4}{N}$:

$$\overset{+4}{N} + 2e^- \rightarrow \overset{+2}{N} \text{ (восстановление; } \overset{+4}{N} \text{ — окислитель)}$$

и

$$\overset{+4}{N} - e^- \rightarrow \overset{+5}{N} \text{ (окисление; } \overset{+4}{N} \text{ — восстановитель).}$$

Однако часто какая-либо одна из функций преобладает. Так, например, SO_2 является преимущественно восстановителем, а NO_2 — окислителем.

2. В молекуле бромоводорода HBr атом водорода $(+1)$ отвечает за окислительную функцию:

$$\overset{+1}{H} + e^- \rightarrow \overset{0}{H} \text{ (восстановление; } \overset{+1}{H} \text{ — окислитель);}$$

атом брома (-1) — за восстановительную:

$$\overset{-1}{Br} - e^- \rightarrow \overset{0}{Br} \text{ (окисление; } \overset{-1}{Br} \text{ — восстановитель).}$$

Окислительно-восстановительные реакции делят на три группы: межмолекулярные окислительно-восстановительные реакции, реакции диспропорционирования и внутримолекулярные окислительно-восстановительные реакции.

В межмолекулярных окислительно-восстановительных реакциях атом-окислитель и атом-восстановитель находятся в составе разных веществ. Например:

1) $KMnO_4 + KI + H_2SO_4 \rightarrow$

$KMnO_4$ — типичный окислитель, поскольку содержит элемент (марганец) в высшей степени окисления $(+7)$; KI — типичный восстановитель, так как содержит элемент (иод) в низшей степени окисления (-1). Составляем схему реакции:

$$KMnO_4 + KI + H_2SO_4 \rightarrow I_2 + MnSO_4 + K_2SO_4 + H_2O$$

Составляем электронные уравнения окисления и восстановления:

$$\overset{-1}{I} - e^- \rightarrow \overset{0}{I}$$

$$\overset{+7}{Mn} + 5e^- \rightarrow \overset{+2}{Mn}$$

Чтобы число отданных и принятых электронов совпадало, первое уравнение необходимо умножить на 5:

$$\begin{array}{l|l} \overset{-1}{I} - e^- \rightarrow \overset{0}{I} & 5 \\ \overset{+7}{Mn} + 5e^- \rightarrow \overset{+2}{Mn} & 1 \end{array}$$

Чтобы получить целочисленный коэффициент перед I_2, оба уравнения нужно умножить на 2:

$$\begin{array}{l|l|l} \overset{-1}{I} - e^- \rightarrow \overset{0}{I} & 5 & 10 \\ \overset{+7}{Mn} + 5e^- \rightarrow \overset{+2}{Mn} & 1 & 2 \end{array}$$

При составлении окончательного уравнения сначала расставляются коэффициенты перед восстановителем, окислителем и продуктами их превращений, а затем — перед продуктами обмена:

$$2KMnO_4 + 10KI + 8H_2SO_4 \rightarrow 5I_2 + 2MnSO_4 + 6K_2SO_4 + 8H_2O$$

2) $KMnO_4 + KNO_2 + H_2SO_4 \rightarrow$

Нитрит калия KNO_2 содержит элемент (азот) в промежуточной степени окисления (+3). Нитрит калия может быть как окислителем, так и восстановителем. В паре с типичным окислителем он играет роль восстановителя:

$$2KMnO_4 + 5KNO_2 + 3H_2SO_4 \rightarrow 2MnSO_4 + 5KNO_3 + K_2SO_4 + 3H_2O$$

$$\begin{array}{l|l} \overset{+3}{N} - 2e^- \rightarrow \overset{+5}{N} & 5 \\ \overset{+7}{Mn} + 5e^- \rightarrow \overset{+2}{Mn} & 2 \end{array}$$

3) $KI + KNO_2 + H_2SO_4 \rightarrow$

В этой реакции нитрит калия, обладающий окислительно-восстановительной двойственностью, играет роль окислителя, так

как его партнер по взаимодействию — иодид калия — типичный восстановитель:

$$2KI + 2KNO_2 + 2H_2SO_4 \rightarrow 2NO + I_2 + 2K_2SO_4 + 2H_2O$$

$$\begin{array}{l|l|l} \overset{-1}{I} - e^- \rightarrow \overset{0}{I} & 1 & 2 \\ \overset{+3}{N} + e^- \rightarrow \overset{+2}{N} & 1 & 2 \end{array}$$

4) $SO_2 + NO_2 \rightarrow$

В этой реакции участвуют два вещества, каждое из которых содержит атом в промежуточной степени окисления. Выше упоминалось, что SO_2 является преимущественно восстановителем, а NO_2 — окислителем, следовательно, протекает реакция:

$$SO_2 + NO_2 \rightarrow SO_3 + NO$$

$$\begin{array}{l|l} \overset{+4}{S} - 2e^- \rightarrow \overset{+6}{S} & 1 \\ \overset{+4}{N} + 2e^- \rightarrow \overset{+2}{N} & 1 \end{array}$$

5) $SO_2 + H_2S \rightarrow$

Это разновидность межмолекулярных окислительно-восстановительных реакций, в которых окислителем и восстановителем являются атомы одного и того же элемента, но в разных степенях окисления (так называемые реакции конпропорционирования)

$$SO_2 + 2H_2S \rightarrow 3S + 2H_2O$$

$$\begin{array}{l|l} \overset{-2}{S} - 2e^- \rightarrow \overset{0}{S} & 2 \\ \overset{+4}{S} + 4e^- \rightarrow \overset{0}{S} & 1 \end{array}$$

Реакции *диспропорционирования*. В этих реакциях и окислителем, и восстановителем являются атомы одного и того же элемента в одной степени окисления, находящиеся в составе одной молекулы. Например:

$$2NO_2 + 2NaOH \rightarrow NaNO_3 + NaNO_2 + H_2O$$

$$\begin{array}{l|l} \overset{+4}{N} - e^- \rightarrow \overset{+5}{N} & 1 \\ \overset{+4}{N} + e^- \rightarrow \overset{+3}{N} & 1 \end{array}$$

Внутримолекулярные окислительно-восстановительные реакции. В этих реакциях атом-окислитель и атом-восстановитель (в разных степенях окисления) находятся в составе одного вещества. Например:

1) $NH_4NO_3 \rightarrow N_2O + 2H_2O$ (при нагревании).

В этой реакции окислителем является атом N (+5), а восстановителем — атом азота N (−3), т. е. атомы одного элемента.

2) $2AgNO_3 \rightarrow 2Ag + 2NO_2 + O_2$ (при нагревании).

Окислители — Ag(+1) и N(+5), восстановитель — атом O (−2), т. е. атомы разных элементов.

Электролиз — совокупность окислительно-восстановительных процессов, протекающих при пропускании электрического тока через расплав или раствор вещества. Здесь ограничимся лишь элементарными представлениями и рассмотрим электролиз с использованием инертных электродов (т. е. таких электродов, материал которых химически не изменяется в ходе электролиза).

При электролизе расплавов оксидов или галогенидов металлов на катоде происходит восстановление металла, а на аноде — окисление оксид-иона с образованием молекулярного кислорода или галогенид-иона с образованием галогена. Например:

1. Электролиз оксида алюминия

на катоде: $Al^{3+} + 3e^- \rightarrow Al$

на аноде: $O^{2-} - 2e^- \rightarrow \overset{0}{O}$

суммарно: $2Al_2O_3 \rightarrow 4Al + 3O_2\uparrow$

2. Электролиз иодида калия

на катоде: $K^+ + e^- \rightarrow K$

на аноде: $I^- - e^- \rightarrow I^0$

суммарно: $2KI \rightarrow 2K + I_2$

При электролизе растворов возможно электролитическое разложение воды с выделением или водорода, или кислорода (или обоих газов). Существуют следующие закономерности. На катоде восстанавливаются или металлы (стоящие в ряду стандартных электродных потенциалов после водорода), или водород (при проведении электролиза растворов солей, содержащих катионы щелочных и щелочно-земельных металлов), или и водород, и металл (во всех остальных случаях). На аноде происходит либо окисление галогенид-ионов (кроме F^-), либо кислорода (если в растворе присутствуют ионы кислородсодержащих кислот и фторид-ион). Например:

1. Электролиз раствора $CuCl_2$

на катоде: $Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$

на аноде: $Cl^- - e^- \rightarrow Cl^0$

суммарно: $CuCl_2 \rightarrow Cu + Cl_2\uparrow$

2. Электролиз раствора $Hg(NO_3)_2$

на катоде: $Hg^{2+} + 2e^- \rightarrow Hg$

на аноде: $O^{2-} - 2e \rightarrow O^0$

суммарно: $2Hg(NO_3)_2 + 2H_2O \rightarrow 2Hg\downarrow + 4HNO_3 + O_2\uparrow$

3. Электролиз раствора KI

на катоде: $H^+ + e^- \rightarrow H^0$

на аноде: $I^- - e^- \rightarrow I^0$

суммарно: $2KI + 2H_2O \rightarrow H_2\uparrow + 2KOH + I_2$

4. Электролиз раствора $Ca(NO_3)_2$

на катоде: $H^+ + e \rightarrow H^0$

на аноде: $O^{2-} - 2e \rightarrow O^0$

суммарно: $2H_2O \rightarrow 2H_2\uparrow + O_2\uparrow$

(т. е. фактически идет электролиз воды).

Более сложные процессы протекают при электролизе солей органических кислот.

УПРАЖНЕНИЯ И ЗАДАЧИ

472. Определите степени окисления выделенных элементов в следующих соединениях: NH_4NO_2; $Na_2Cr_2O_7$; Fe_3O_4; Na_2O_2; $Ca_3(PO_4)_2$; H_3PO_3; K_2MnO_4; Cu_2O; N_2O_4; CaC_2; $KAl(SO_4)_2$; SiC; $KClO_4$; $Na_4P_2O_7$; Mg_2Si; $Ca(OCl)_2$; $Ba(NO_2)_2$; $FeNH_4(SO_4)_2$.

473. Среди перечисленных ниже реакций найдите окислительно-восстановительные. Укажите для каждой из них окислитель и восстановитель; расставьте коэффициенты:

а) $CuO + Na_2B_4O_7 \rightarrow Cu(BO_2)_2 + NaBO_2$

б) $CuSO_4 + KI \rightarrow CuI + ...$

в) $Cu_2O + H_2SO_4 \rightarrow CuSO_4 + ...$

г) $Cu_2S + O_2 \rightarrow Cu_2O + ...$

д) $CuO + HNO_3 \rightarrow Cu(NO_3)_2 + ...$

е) $Cu_2O + HCl \rightarrow CuCl + ...$

ж) $(CuOH)_2CO_3 \rightarrow CuO + ...$

474. Среди перечисленных ниже реакций найдите окислительно-восстановительные. Укажите для каждой из них окислитель и восстановитель; расставьте коэффициенты:

а) $BaCl_2 + K_2Cr_2O_7 + H_2O \rightarrow BaCrO_4 + ...$

б) $Cr_2O_3 + Na_2CO_3 \rightarrow NaCrO_2 + ...$

в) $Cr_2(SO_4)_3 + Na_2S + H_2O \rightarrow Cr(OH)_3 + ...$

г) $CrCl_2 + H_2O \rightarrow CrOHCl_2 + ...$

д) $Cr(NO_3)_3 + H_2O_2 + NaOH \rightarrow Na_2CrO_4 + ...$

е) $(NH_4)_2CrO_4 + H_2SO_4 \rightarrow (NH_4)_2Cr_2O_7 + ...$

ж) $(NH_4)_2Cr_2O_7 \rightarrow Cr_2O_3 + ...$

з) $K_2Cr_2O_7 + KOH \rightarrow K_2CrO_4 + ...$

475. Среди перечисленных ниже реакций найдите окислительно-восстановительные. Укажите для каждой из них окислитель и восстановитель; расставьте коэффициенты:

а) $Fe_2O_3 + CO \rightarrow Fe_3O_4 + ...$

б) $Fe_2O_3 + FeO \rightarrow Fe_3O_4$

в) $Fe_2O_3 + NaOH \rightarrow NaFeO_2 + ...$

г) $(NH_4)_2S + FeCl_2 \rightarrow FeS + ...$

д) $FeCl_3 + Na_2S \rightarrow FeCl_2 + ...$

е) $Fe(OH)_2 + H_2O_2 \rightarrow Fe(OH)_3$

ж) $KFe(SO_4)_2 + NH_3 + H_2O \rightarrow Fe(OH)_3 + ...$

з) $Fe_3C + HCl \rightarrow FeCl_2 + ...$

476. Среди перечисленных ниже реакций найдите окислительно-восстановительные. Укажите для каждой из них окислитель и восстановитель; расставьте коэффициенты:

а) $MnSO_4 + PbO_2 + HNO_3 \rightarrow HMnO_4 + PbSO_4 + ...$

б) $MnO_2 + KOH\,(т) \xrightarrow{t} K_2MnO_3 + ...$

в) $KMnO_4 + H_2SO_4\,(конц) \rightarrow Mn_2O_7 + ...$

г) $K_2MnO_4 + H_2O \rightarrow KMnO_4 + ...$

д) $MnO_2 + HCl \rightarrow MnCl_2 + ...$

е) $MnO + H_2SO_4 \rightarrow MnSO_4 + ...$

ж) $MnO_2 + KNO_3\,(т) + K_2CO_3 \xrightarrow{t} K_2MnO_4 + ...$

477. Среди перечисленных ниже реакций найдите окислительно-восстановительные. Укажите для каждой из них окислитель и восстановитель; расставьте коэффициенты:

а) $Al + NH_3 \rightarrow AlN + ...$

б) $Na_3N + HCl \rightarrow NH_4Cl + ...$

в) $SiO_2 + HF \rightarrow H_2SiF_6 + ...$

г) $SiS_2 + H_2O \rightarrow H_4SiO_4 + H_2S$

д) $Na_2S + nS \rightarrow Na_2S_{n+1}$

е) $HClO_4 + P_2O_5 \rightarrow Cl_2O_7 + ...$

ж) $PCl_3 + H_2O \rightarrow HCl + H_3PO_3$

з) $H_3PO_4 \rightarrow H_4P_2O_7 + H_2O$

и) $NaNO_2 + NaClO \rightarrow NaNO_3 + ...$

478. Напишите уравнения реакций диспропорционирования в молекулярной и ионной форме: а) брома в горячем растворе NaOH (образуются $\overset{-1}{Br}$ и $\overset{+5}{Br}$); б) хлора в холодном растворе $Ca(OH)_2$ (образуются $\overset{-1}{Cl}$ и $\overset{+1}{Cl}$); в) оксида азота (IV) в $Ba(OH)_2$ (образуются $\overset{+3}{N}$ и $\overset{+5}{N}$); г) серы в горячем растворе KOH (образуются $\overset{-2}{S}$ и $\overset{+4}{S}$).

479. Напишите уравнения реакций внутримолекулярного окисления — восстановления: а) при нагревании хлорида фосфора (V) (образуются $\overset{+3}{P}$ и простое вещество); б) при нагревании сульфата аммония (образуются $\overset{0}{N}$ и $\overset{+4}{S}$); в) при нагревании нитрита аммония (степени окисления изменяет только азот); г) при нагревании нитрата аммония (степени окисления изменяет только азот).

480. Имеются разбавленные водные растворы карбоната калия, иодида калия, дихромата калия и серной кислоты. Какие растворы нужно смешать вместе, чтобы прошла: а) окислительно-восстановительная реакция; б) обменная реакция? Напишите уравнения реакций.

481. Имеются разбавленные водные растворы сульфита калия, сульфата магния, перманганата калия, серной кислоты. Какие растворы нужно смешать вместе, чтобы прошла: а) окислительно-восстановительная реакция; б) обменная реакция? Напишите уравнения реакций.

482. Составьте уравнения реакций разложения средних солей по схеме: X→Z←Y.

Одна из реакций окислительно-восстановительная; другая протекает без изменения степеней окисления.

483. Составьте уравнения реакций, связывающих между собой соли: X→Z←Y.

Одна из реакций — реакция соединения, она протекает с изменением степеней окисления; другая реакция — реакция обмена.

484. Составьте уравнения реакций по схеме: X→Y→Z. Первая реакция — реакция соединения, протекающая с изменением степеней окисления; вторая реакция — реакция обмена.

485. Приведите пример реакции, в которой принимает участие вещество, молекула которого состоит из двух атомов разных элементов. В ходе этой реакции степени окисления обоих атомов увеличиваются.

486. Приведите примеры двух реакций, в которых принимает участие вещество, молекула которого состоит из двух атомов разных элементов. В ходе первой реакции степень окисления одного из атомов увеличивается; в ходе второй реакции степень окисления этого же атома уменьшается.

487. Напишите уравнения реакций, протекающих при электролизе хлорида натрия: а) в растворе; б) в расплаве.

488. Напишите уравнения реакций, протекающих при электролизе в растворах: а) нитрата меди (II); б) сульфата калия; в) хлорида ртути (II).

489. После пропускания через 250 г 10,0%-го раствора нитрата натрия в течение некоторого времени электрического тока массовая доля соли увеличилась вдвое. Вычислите объемы (н. у.) газов, выделившихся на электродах.

490. После пропускания в течение некоторого времени электрического тока через 100 мл раствора нитрата серебра с концентрацией 1,24 моль/л (пл. 1,17 г/мл) на катоде выделилось 5,40 г серебра. Вычислите массовые доли веществ в электролизере после отключения тока.

491. Через находящийся в электролизере 12,0%-й раствор бромида меди (II) массой 150 г пропускали некоторое время электрический ток. Ток отключили после того, как на катоде осадилось 3,20 г меди. Раствор перелили в колбу, выпарили и сухой остаток растворили в воде таким образом, что объем раствора стал равным 250 мл. Вычислите молярную концентрацию соли в этом растворе.

492. Через находящийся в электролизере 4,00%-й раствор хлорида бария массой 175 г пропускали электрический ток до тех

пор, пока на аноде не выделилось 224 мл (н. у.) газа. К оставшемуся в электролизере раствору добавили воду до объема 200 мл. Вычислите молярную концентрацию соли в получившемся растворе.

493. После пропускания через раствор сульфата меди (II) в течение некоторого времени электрического тока массовая доля соли уменьшилась до 1,6%, а массовая доля кислоты достигла 9,8%. Вычислите массовую долю сульфата меди в исходном растворе.

494. После пропускания через 10%-й раствор нитрата серебра в течение некоторого времени электрического тока масса кислоты в полученном растворе оказалась в 2 раза больше массы соли. Вычислите массовую долю соли в конечном растворе.

495. После пропускания через раствор нитрата меди (II) в течение некоторого времени электрического тока масса раствора уменьшилась на 2%. Вычислите массовую долю кислоты в образовавшемся растворе.

1.7. ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОТЕКАНИЯ РЕАКЦИЙ

По характеру теплового эффекта реакции делят на *экзотермические* (с выделением теплоты, $\Delta H < 0$) и *эндотермические* (с поглощением теплоты, $\Delta H > 0$).

Реакции, протекающие при определенных условиях только в одном направлении, называются *необратимыми*. Реакции, в ходе которых продукты вступают между собой в реакцию при тех же условиях, при которых они образовались, называются *обратимыми*. Например:

$$2Mg + O_2 \rightarrow 2MgO \text{ (необратимая реакция)}$$

$$H_2 + I_2 \rightleftarrows 2HI \text{ (обратимая реакция).}$$

При протекании обратимой реакции устанавливается химическое равновесие, характеризующееся постоянством концентраций всех участников реакции (реагентов и продуктов).

Смещение химического равновесия наблюдается при воздействии каких-либо внешних факторов (изменения концентраций реагентов или продуктов, температуры, давления) на систему, находящуюся в состоянии равновесия. В системе при этом развивается процесс, направленный в сторону установления нового состояния равновесия при изменившихся условиях.

Принцип смещения химического равновесия в общем виде был сформулирован Ле Шателье: если на систему, находящуюся в равновесии, воздействовать извне, изменив какое-нибудь из условий, то в результате протекающих в ней процессов равновесие начнет смещаться в том направлении, в котором эффект воздействия уменьшается.

Например, при определенных условиях в газовой фазе будут находиться в равновесии фосген $COCl_2$ и продукты его разложения:

$$COCl_2 \rightleftarrows CO + Cl_2,\ \Delta H^\circ > 0 \text{ (реакция эндотермическая)}$$

$$CO + Cl_2 \rightleftarrows COCl_2,\ \Delta H^\circ < 0 \text{ (реакция экзотермическая).}$$

Увеличение температуры способствует протеканию того процесса, в ходе которого теплота поглощается (эндотермического), т. е. равновесие сместится в сторону продуктов разложения фосгена. Увеличение давления способствует протеканию того процесса, в ходе которого давление уменьшается (т. е. уменьшается суммарный объем газообразных веществ), т. е. равновесие сместится в сторону образования фосгена. Увеличение концентрации фосгена приведет к смещению равновесия в сторону образования продуктов, так как в системе разовьется процесс, направленный на уменьшение концентрации фосгена. В ту же сторону сместится равновесие при уменьшении концентрации оксида углерода (II) или хлора. Равновесие смещается в сторону образования фосгена при уменьшении его концентрации, а также при увеличении концентраций CO и Cl_2.

Протекание реакций во времени изучает химическая кинетика. *Скорость химической реакции* определяется изменением количеств реагирующих веществ (или продуктов реакции) в единицу времени. Для гомогенных реакций, т. е. таких, реагенты которых находятся в одной фазе, скорость реакции определяется изменением концентраций реагирующих веществ (или продуктов реакции) в единицу времени. Скорость реакции в общем случае не является постоянной величиной: она уменьшается по мере расходования реагентов и накопления продуктов. Чаще всего пользуются понятием средней скорости $v_{ср}$ *в некотором интервале времени:*

$$v_{ср} = \pm \Delta c / \Delta \tau.$$

Для продуктов $\Delta c > 0$:

$$v_{ср} = \Delta c / \Delta \tau;$$

для исходных веществ $\Delta c < 0$:

$$v_{ср} = -\Delta c / \Delta \tau.$$

Наиболее употребляемая единица измерения — моль на литр-секунду [моль/(л·с)].

Скорость химической реакции зависит в первую очередь от природы реагирующих веществ. Коэффициент пропорциональности, называемый *константой скорости* k, зависит от тех же факторов, что и скорость, но не зависит от концентрации. Скорость гетерогенных реакций (реагенты находятся в составе разных фаз) зависят от площади соприкасающихся фаз, т. е. степени дисперсности. Скорости всех реакций зависят от температуры, многих реакций — от присутствия катализаторов или действия каких-либо иных факторов (электромагнитное излучение, ультразвуковое воздействие, ударные волны и др.).

В соответствии с эмпирическим *правилом Вант-Гоффа* скорость большинства реакций увеличивается приблизительно в 2 — 4 раза при увеличении температуры на 10 К:

$$k_{T+\Delta T} = k_T \gamma^{\frac{\Delta T}{10}},$$

где γ — температурный коэффициент константы скорости реакции.

Под *катализом* понимают изменение скорости химических реакций в присутствии веществ, которые после завершения реакции остаются в неизменном виде и количестве. Увеличение скорости реакции называют положительным катализом, уменьшение — отрицательным катализом или ингибированием. Однако *катализаторами* называют только те вещества, которые вызывают положительный катализ; вещества, замедляющие реакции, называют *ингибиторами*. Один и тот же катализатор ускоряет как прямую, так и обратную реакции, не смещая положения химического равновесия.

ВОПРОСЫ, УПРАЖНЕНИЯ И ЗАДАЧИ

496. В какую сторону сместится положение равновесия реакции

$$2CuO(т) + 4NO_2(г) + O_2(г) \rightleftarrows 2Cu(NO_3)_2(т),\ \Delta H^\circ = -440\ кДж/моль$$

а) при увеличении температуры; б) при увеличении давления? Поясните.

497. В какую сторону сместится положение равновесия реакции

$$4HCl(г) + O_2(г) \rightleftarrows 2Cl_2(г) + 2H_2O(г),\ \Delta H^\circ < 0$$

а) при увеличении давления; б) при добавлении хлора; в) при добавлении кислорода? Поясните.

498. В какую сторону сместится положение равновесия реакции

$$2Pb(NO_3)_2(т) \rightleftarrows 2PbO(т) + 4NO_2(г) + O_2(г),\ \Delta H^\circ = +558\ кДж/моль$$

а) при уменьшении температуры; б) при уменьшении давления; в) при удалении оксида азота? Поясните.

499. В какую сторону сместится положение равновесия реакции

$$PCl_5(г) \rightleftarrows Cl_2(г) + PCl_3(г),\ \Delta H^\circ = -88\ кДж/моль$$

а) при увеличении температуры; б) при увеличении давления? Концентрацию какого из хлоридов фосфора нужно уменьшить, чтобы увеличить выход продукта? Поясните.

500. В какую сторону сместится положение равновесия реакции

$$2SO_3(г) \rightleftarrows O_2(г) + 2SO_2(г),\ \Delta H^\circ = +198\ кДж/моль$$

при увеличении температуры? Как следует изменить давление и концентрацию кислорода для смещения равновесия в сторону образования исходных веществ? Поясните.

501. В какую сторону сместится положение равновесия реакции

$$C(т) + 2Cl_2(г) \rightleftarrows CCl_4(г),\ \Delta H^\circ = -135\ кДж/моль$$

при добавлении в реакционную смесь хлора? Как следует изменить температуру и давление для смещения равновесия в сторону образования продукта? Поясните.

502. Предложите три способа увеличения выхода иодоводорода по реакции его синтеза из простых веществ (иод находится в газообразном состоянии; реакция эндотермическая). Поясните.

503. Как следует изменить: а) температуру и б) давление, чтобы сместить равновесие в реакции

$$2P(т) + 3Cl_2(г) \rightleftarrows 2PCl_3(г),\ \Delta H^\circ = -574\ кДж/моль$$

в сторону образования продукта? Как на положение равновесия будет влиять удаление из реакционной сферы хлорида фосфора? Поясните.

504. Как следует изменить внешние условия [температуру, давление, добавление или удаление оксида серы (IV)] для смещения равновесия реакции

$$CS_2(г) + 3O_2(г) \rightleftarrows CO_2(г) + 2SO_2(г),\ \Delta H^\circ < 0$$

в сторону образования продуктов? Поясните.

505. Для какой из трех приведенных ниже реакций

$$CaCO_3(т) \rightleftarrows CaO(т) + CO_2(г);\ \Delta H^\circ > 0$$

$$2H_2S(г) + SO_2(г) \rightleftarrows 3S(т) + 2H_2O(г);\ \Delta H^\circ > 0$$

$$N_2(г) + 3H_2(г) \rightleftarrows 2NH_3(г);\ \Delta H^\circ < 0$$

смещение равновесия в сторону образования продуктов обеспечивается и повышением температуры, и повышением давления? Поясните.

506. Для какой из трех приведенных ниже реакций

$$BaCO_3(т) \rightleftarrows BaO(т) + CO_2(г);\ \Delta H^\circ > 0$$

$$SO_3(г) + NO(г) \rightleftarrows SO_2(г) + NO_2(г);\ \Delta H^\circ > 0$$

$$2O_3(г) \rightleftarrows 3O_2(г);\ \Delta H^\circ < 0$$

смещение равновесия в сторону образования продуктов обеспечивается как повышением температуры, так и понижением давления? Поясните.

507. Для какой из трех приведенных ниже реакций

$$2H_2S(г) + SO_2(г) \rightleftarrows 3S(т) + 2H_2O(г);\ \Delta H^\circ > 0$$

$$SO_3(г) + NO(г) \rightleftarrows SO_2(г) + NO_2(г);\ \Delta H^\circ > 0$$

$$2SO_2(г) + O_2(г) \rightleftarrows 2SO_3(г);\ \Delta H^\circ < 0$$

смещение равновесия в сторону образования продуктов обеспечивается как повышением температуры, так и выведением из реакционной сферы оксида серы (IV)? Поясните.

508. Что называют скоростью химической реакции?

509. Приведите пример зависимости скорости реакции от концентрации реагирующих веществ.

510. Приведите пример зависимости скорости реакции от поверхности реагирующих веществ.

511. Скорость некоторой реакции увеличивается в 2,5 раза при повышении температуры реакционной смеси на 10 °С. Во сколько раз увеличится скорость реакции при повышении температуры от 10 до 30 °С?

512. Скорость некоторой реакции увеличивается в 5,6 раза при повышении температуры реакционной смеси на 20 К. Как изменится скорость реакции при понижении температуры от 55 до 15 °С?

РАЗДЕЛ 2
НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

2.1. ВОДОРОД, КИСЛОРОД И ИХ СОЕДИНЕНИЯ

Водород — первый элемент периодической системы элементов. Электронная конфигурация его атома $1s^1$. Атом водорода может отдавать свой единственный электрон, превращаясь в протон H^+. В водных растворах протон всегда гидратирован (ион гидроксония H_3O^+). В степени окисления +1 атомы водорода входят в состав воды, всех кислот, оснований, кислых солей. Атом водорода может принимать электрон, превращаясь в гидрид-ион H^-. Степень окисления водорода −1 в соединениях встречается значительно реже, чем +1. Изотопы водорода с массовыми числами 1, 2 и 3 называются соответственно протием, дейтерием и тритием. Водород образует простое вещество H_2, молекулы которого двухатомны. Водород — бесцветный газ без запаха и вкуса; температура плавления −259,2 °С; температура кипения −252,9 °С; в 100 г воды при н. у. растворяется 2,15 мл водорода.

Водород выступает в роли восстановителя в реакциях с неметаллами. Водород горит в кислороде, смесь водорода с кислородом при поджигании взрывается:

$$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$$

Взаимодействие с серой — обратимый процесс; при температуре около 200 °С (водород пропускается в расплавленную серу) образуется преимущественно сероводород, при более высокой температуре идет заметное разложение сероводорода:

$$H_2 + S \rightleftarrows H_2S$$

Взаимодействие с графитом — обратимый процесс, протекающий со значительной скоростью только в присутствии платино-

вого катализатора; синтез метана проходит при повышенном давлении и 600 °С; при более высокой температуре преобладает обратное направление процесса:

$$2H_2 + C \rightleftarrows CH_4$$

Водород реагирует с галогенами Hal при разных условиях. С фтором водород реагирует, уже начиная с температуры −250 °С, часто со взрывом; с хлором — при комнатной температуре на свету, тоже со взрывом; реакцию проводят также в регулируемом режиме, сжигая водород в темной камере в атмосфере хлора; реакции с бромом и иодом обратимы и протекают при повышенной температуре (400 — 500 °С):

$$H_2 + Hal_2 \rightleftarrows 2HHal$$

Реакция водорода с азотом протекает достаточно быстро только при 500 °С и в присутствии катализатора на основе Fe_3O_4; для смещения равновесия используют повышение давления (20 — 30 МПа):

$$3H_2 + N_2 \rightleftarrows 2NH_3$$

Водород является восстановителем и по отношению к сложным веществам. Он может восстанавливать не очень активные металлы из их оксидов, например:

$$Ag_2O + H_2 \xrightarrow{150\ ^\circ C} 2Ag + H_2O$$

$$CuO + H_2 \xrightarrow{200\ ^\circ C} Cu + H_2O$$

$$Fe_3O_4 + 4H_2 \xrightarrow{600\ ^\circ C} 3Fe + 4H_2O$$

Хром и более активные металлы водородом из соединений не восстанавливаются.

Водород способен проявлять и окислительные способности. При нагревании он реагирует со щелочными и щелочно-земельными металлами, образуя гидриды, например:

$$H_2 + 2Na \xrightarrow{300\ ^\circ C} 2NaH$$

$$H_2 + Ca \xrightarrow{600\ ^\circ C} CaH_2$$

Гидриды активно реагируют с водой и кислотами, например:

$$NaH + H_2O \rightarrow NaOH + H_2\uparrow$$

$$CaH_2 + 2HCl \rightarrow CaCl_2 + 2H_2\uparrow$$

Кислород — элемент второго периода, VIA-группы периодической системы элементов. Это второй, после фтора, по электроотрицательности элемент. Электронная конфигурация внешнего уровня $2s^2 2p^4$. В основном состоянии атома на внешнем уровне две пары электронов и два неспаренных электрона. Кислород может проявлять положительные степени окисления только в соединениях с фтором (OF_2, O_2F_2). Во всех остальных соединениях его степень окисления -2 (большинство веществ) или -1. В степени окисления -2 атомы кислорода входят в состав всех оксидов, большинства кислородсодержащих кислот (в рассматриваемом курсе — всех кислородсодержащих кислот) и их солей, гидроксидов металлов. В степени окисления -1 кислород образует пероксиды, т. е. соединения, содержащие связь O — O (пероксид водорода H_2O_2, BaO_2 — пероксид бария, Na_2O_2 — пероксид натрия). Кислород образует два простых вещества: устойчивый дикислород O_2, который чаще называют просто кислородом, и неустойчивый озон O_3. Дикислород и озон являются аллотропными модификациями (модификация, отвечающая составу молекулы O_4, чрезвычайно неустойчива). Реакция $3O_2 \rightleftarrows 2O_3$ проходит в озонаторах, в которых используется переменный ток высокого напряжения, или же при ультрафиолетовом облучении при повышенной температуре и в присутствии катализаторов (например, MnO_2).

Кислород — бесцветный газ без запаха и вкуса; температура плавления $-218{,}7$ °C; температура кипения -183 °C; в 100 г воды при н. у. растворяется 4,89 мл кислорода. Жидкий кислород имеет слегка голубоватый цвет. Озон — светло-синий газ с запахом, напоминающим запах хлора; температура плавления $-192{,}7$ °C; температура кипения -112 °C; в 100 г воды при н. у. растворяется 59,9 мл озона. В жидком состоянии озон темно-фиолетового цвета, в твердом — черного.

В лаборатории кислород чаще всего получают термическим разложением кислородсодержащих солей, например:

$$2KClO_3 \xrightarrow{MnO_2} 2KCl + 3O_2$$

$$2KMnO_4 \rightarrow K_2MnO_4 + MnO_2 + O_2$$

$$2KNO_3 \rightarrow 2KNO_2 + O_2$$

Тлеющая лучинка в атмосфере кислорода вспыхивает. Это явление часто используют для обнаружения кислорода.

Кислород образует оксиды в реакциях со многими неметаллами, например:

$$S + O_2 \rightarrow SO_2$$

$$C + O_2 \rightarrow CO_2$$

$$4P + 5O_2 \rightarrow 2P_2O_5$$

С азотом кислород реагирует только обратимо и только при очень высоких температурах, возникающих в электрических разрядах (2000 — 3000 °С)

$$N_2 + O_2 \rightleftarrows 2NO$$

С галогенами кислород непосредственно не соединяется.

Кислород реагирует и с большинством металлов (кроме благородных), образуя оксиды:

$$4Li + O_2 \rightarrow 2Li_2O$$

$$2Ca + O_2 \rightarrow 2CaO$$

$$4Al + 3O_2 \rightarrow 2Al_2O_3$$

$$3Fe + 2O_2 \rightarrow Fe_3O_4$$

В реакции с натрием образуется пероксид:

$$2Na + O_2 \rightarrow Na_2O_2$$

В кислороде горят практически все органические вещества. Например, по схеме

$$C_xH_y + O_2 \rightarrow xCO_2 + 0{,}5yH_2O$$

Горение простых и сложных веществ начинается после достижения температуры воспламенения, которая колеблется в широких пределах (например, для белого фосфора 35 — 60 °С; для красного фосфора около 250 °С); после этого реакция протекает самопроизвольно с выделением теплоты.

Кислород окисляет также многие сложные неорганические вещества, например:

$$4NH_3 + 3O_2 \xrightarrow{\text{горение}} 6H_2O + 2N_2$$

$$2NaH + O_2 \rightarrow 2NaOH$$

$$P_2O_3 + O_2 \rightarrow P_2O_5$$

Озон является более сильным окислителем, чем кислород. Он реагирует с бо́льшим, чем кислород, числом веществ, окисляя их при более мягких условиях. Во многих случаях окисление озоном проходит до более высоких степеней окисления атомов-восстановителей. Например, озон, в отличие от кислорода, окисляет NO_2:

$$2NO_2 + O_3 \rightarrow N_2O_5 + O_2$$

Кислород окисляет сероводород H_2S только до SO_2 (S со степенью окисления +4), а озон — до серной кислоты H_2SO_4 (S со степенью окисления +6). Для обнаружения озона используется реакция

$$2KI + O_3 + H_2O \rightarrow I_2 + 2KOH + O_2$$

При пропускании озона через водный раствор иодида калия происходит пожелтение (в присутствии крахмала — посинение). Кислород тоже реагирует с иодидом калия, однако эта реакция протекает достаточно медленно (она ускоряется на свету, при подкислении или в присутствии катализаторов).

Важнейшим соединением водорода и кислорода является вода. Многие свойства воды уже упоминались выше. Она реагирует с некоторыми оксидами, со щелочными и щелочно-земельными металлами, с магнием при нагревании, с алюминием после снятия защитной пленки. Вода со многими солями образует кристаллогидраты, например:

$$CuSO_4 + 5H_2O \rightarrow CuSO_4 \cdot 5H_2O$$

Вода принимает участие в реакциях ионного гидролиза (гидролиза солей) и ковалентного гидролиза, например:

$$SCl_4 + 2H_2O \rightarrow 4HCl + SO_2$$

Сильные окислители (например, фтор, хлор) окисляют воду, при этом образуется кислород. Сильные восстановители (щелочные и щелочно-земельные металлы) восстанавливают воду, при этом образуется водород.

Вода разлагается электролитически или же нагреванием до высокой температуры (при давлении 100 кПа только 0,034% молекул воды подвергается разложению при 1015 °С и 11,1% при 2483 °С).

Водород и кислород образуют также **пероксид водорода** H — O — O — H, в котором степень окисления кислорода равна −1. Получают пероксид водорода реакцией

$$Na_2O_2 + H_2SO_4\ (\text{разб}) \xrightarrow{\text{на холоду}} Na_2SO_4 + H_2O_2.$$

Пероксид водорода — вещество с выраженной окислительно-восстановительной двойственностью за счет промежуточной степени окисления кислорода. Он может быть окислителем $\overset{-1}{O} + e^- \rightarrow \overset{-2}{O}$, например:

$$H_2O_2 + 2KI + H_2SO_4 \rightarrow 2H_2O + I_2 + K_2SO_4$$

или восстановителем ($\overset{-1}{O} - e^- \rightarrow \overset{0}{O}$), например:

$$5H_2O_2 + 2KMnO_4 + 3H_2SO_4 \rightarrow 5O_2\uparrow + 2MnSO_4 + K_2SO_4 + 8H_2O$$

Пероксид водорода — неустойчивое соединение и постепенно разлагается вследствие реакции диспропорционирования:

$$2H_2O_2 \rightarrow O_2\uparrow + 2H_2O$$

Пример 20. К некоторому объему кислорода в закрытом сосуде добавили 10,0 л водорода. Смесь взорвали, в результате чего образовалось 8,04 г воды. После охлаждения объем непрореагировавшего газа оказался равным 3,00 л. Объемы измерялись при н. у. Вычислите первоначальный объем кислорода.

Решение. Кислород и водород реагируют по уравнению

$$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$$

Рассчитаем количество вещества, взятого для реакции водорода, и образовавшейся воды:

$$\nu(H_2) = V(H_2) : V_m;\ V(H_2) = 10 : 22{,}4 = 0{,}4464 \text{ моль};$$

$$\nu(H_2O) = m(H_2O) : M(H_2O);\ \nu(H_2O) = 8{,}04 : 18 = 0{,}4467 \text{ моль}.$$

Поскольку количество вещества образовавшейся воды практически равно количеству вещества взятого водорода, можно считать, что водород прореагировал полностью, а оставшийся газ — кислород. По уравнению реакции

$$\nu(O_2)_{вст} = 0{,}5 \cdot \nu(H_2) = 0{,}5 \cdot 0{,}4464 = 0{,}2232 \text{ моль}$$

и

$$V(O_2)_{вст} = 0{,}2232 \cdot 22{,}4 = 5{,}00 \text{ л}.$$

Таким образом, первоначальный объем кислорода равнялся $5 + 3 = 8$ л.

Пример 21. Пероксид водорода, находящийся в 50,0 г 8,00%-го раствора, полностью разложили; выделившийся газ собрали. Оставшуюся жидкость обработали осторожно барием; выделившийся газ также собрали. Оказалось, что массы собранных газов равны между собой. Вычислите массу бария, вступившего в реакцию.

Решение. Пероксид водорода разлагается в соответствии с реакцией:

$$2H_2O_2 \rightarrow 2H_2O + O_2 \qquad (I)$$

Вычислим количество вещества H_2O_2:

$$\nu(H_2O_2) = 50 \cdot 0{,}08 : 34 = 0{,}1176 \text{ моль}.$$

По уравнению реакции

$$\nu(O_2) = 0{,}5 \cdot \nu(H_2O_2) = 0{,}5 \cdot 0{,}1176 = 0{,}05882 \text{ моль}$$

и

$$m(O_2) = 32 \cdot 0{,}05882 = 1{,}882 \text{ г}.$$

Барий реагирует с водой с выделением водорода:

$$2H_2O + Ba \rightarrow Ba(OH)_2 + H_2\uparrow \quad (II)$$

По условию задачи $m(H_2) = m(O_2) = 1{,}882$ г; следовательно, в реакции (II) образовалось водорода:

$$\nu(H_2) = 1{,}882 : 2 = 0{,}941 \text{ моль}.$$

По уравнению реакции (II)

$$\nu(Ba) = \nu(H_2) = 0{,}941 \text{ моль}$$

и

$$m(Ba) = 137 \cdot 0{,}941 \text{ моль} = 129 \text{ г}.$$

Пример 22. К 150 мл раствора серной кислоты с концентрацией 0,500 моль/л добавили 7,50 г гидрида калия. Какая лакмусовая бумажка, помещенная в раствор по завершении реакции, синяя или красная — изменит цвет?

Решение. Гидрид калия реагирует с серной кислотой:

$$H_2SO_4 + 2KH \rightarrow K_2SO_4 + 2H_2\uparrow$$

Рассчитаем количества веществ обоих реагентов:

$$\nu(H_2SO_4) = c(H_2SO_4)\,V(H_2SO_4,\ \text{р-р});\ \nu(H_2SO_4) = 0{,}5 \cdot 0{,}15 = 0{,}075 \text{ моль};$$

$$\nu(KH) = m(KH) : M(KH);\ \nu(KH) = 7{,}5 : 40 = 0{,}1875 \text{ моль}.$$

В приведенной выше реакции KH находится в избытке, следовательно, оставшийся гидрид калия вступит в реакцию с водой с образованием щелочи:

$$KH + H_2O \rightarrow KOH + H_2\uparrow$$

и реакция среды — щелочная, окраску меняет красный лакмус.

ВОПРОСЫ, УПРАЖНЕНИЯ И ЗАДАЧИ

513. С помощью каких реакций получают водород в лаборатории и в промышленности?

514. В виде каких соединений в основном в природе встречаются водород и кислород?

515. Что такое тяжелая вода?

516. В каких условиях можно разложить воду на простые вещества?

517. В каких условиях в природе образуется озон? Приведите уравнения реакции.

518. Покажите разницу в физических свойствах аллотропных модификаций кислорода. Подтвердите примерами, что озон является более активным окислителем, чем кислород.

519. Объясните, почему озон обесцвечивает лакмус.

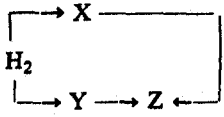
520. Как можно в лабораторных условиях получить озон?

521. В четырех цилиндрах находятся газы: воздух, озонированный кислород, водород и кислород. Как можно с помощью

химических реакций идентифицировать содержимое каждого цилиндра?

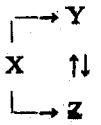
522. Составьте уравнения окислительно-восстановительных реакций по схеме A→B→C→D→E→F, в которой все вещества содержат водород. Некоторые вещества могут содержать кислород и натрий.

523. Составьте уравнения реакций, иллюстрирующих схему:



Все вещества содержат водород, причем X и Y — в разных степенях окисления.

524. Составьте уравнения реакций, иллюстрирующих схему:



Все вещества содержат кислород, причем в разных степенях окисления.

525. Вычислите массу воды, которая образуется при взрыве смеси водорода с кислородом объемом 336 мл (н. у.); известно, что оба газа прореагировали полностью.

526. При восстановлении оксида вольфрама (VI) водородом масса твердого остатка оказалась на 12,0 г меньше массы исходного образца, а массовая доля оксида в конечной смеси стала равна 20,0%. Вычислите исходную массу оксида, взятую для восстановления.

527. При электролизе воды, в которую была добавлена некоторая масса сульфата натрия, образовались газообразные продукты общим объемом 33,6 л (н. у.). Вычислите массу воды, подвергшейся электролизу.

528. К некоторому объему водорода в закрытом сосуде добавили 2,00 л кислорода. Смесь взорвали, в результате чего образовалось 3,21 г воды. После охлаждения объем непрореагировавшего газа оказался равным 6,00 л. Объемы измерялись при н. у. Вычислите первоначальный объем водорода.

529. Смесь водорода и кислорода, имеющую при 50 °С и 100 кПа плотность, равную 0,913 г/л, поместили в закрытый сосуд и взорвали. Вычислите плотность полученной смеси веществ при нормальном давлении и 120 °С.

530. Водород, образовавшийся при действии избытка сплава цинка с железом на 100 мл соляной кислоты, пропустили через

трубку с раскаленным оксидом меди (II). Масса трубки по окончании реакции уменьшилась на 2,00 г. Вычислите молярную концентрацию хлороводорода в исходном растворе.

531. Водород, образовавшийся при действии железа на 150 мл смеси соляной кислоты и серной кислоты, пропустили через трубку с натрием при температуре 300 °С. Масса трубки по окончании реакции увеличилась на 0,500 г. Вычислите молярную концентрацию ионов водорода в исходном растворе.

532. Водород пропустили через расплавленную серу. Относительная плотность по воздуху смеси газов на выходе равна 1,00. Вычислите, с каким выходом (%) прошла реакция синтеза сероводорода.

533. В двух колбах находится по 60,0 г соляной кислоты с массовой долей хлороводорода 3,65%. В одну из колб добавили 2,00 г гидрида бария, а в другую — такую же массу гидрида кальция. Как будут изменять свой цвет красная и синяя лакмусовые бумажки, помещенные в каждую из двух колб по завершении реакции?

534. Какую массу гидрида кальция следует обработать водой, чтобы полученным водородом можно было полностью восстановить до железа оксид железа (II, III) массой 6,96 г?

535. Какую массу гидрида калия следует обработать водой, чтобы с помощью выделившегося водорода получить из оксида железа (III) оксид железа (II, III) массой 6,96 г?

536. Смесь хлората калия и оксида марганца (IV) общей массой 50,0 г, в которой массовая доля катализатора равна 0,500%, прокалили. Чему будет равна массовая доля катализатора в смеси после того, как выделится 13,5 л газа (измерено при 333 К и 100 кПа)?

537. В смеси нитрата калия и нитрита калия общей массой 75,0 г массовые доли веществ равны. После нагревания этой смеси при 400 °С в течение некоторого времени массовые доли солей стали различаться ровно в 10 раз. Вычислите объем выделившегося кислорода (25 °С, нормальное давление).

538. В смеси нитрата натрия и нитрита натрия общей массой 75,0 г количества веществ равны. После нагревания этой смеси при 450 °С в течение некоторого времени количества веществ солей стали различаться ровно в 10 раз. Вычислите объем выделившегося кислорода (25 °С, нормальное давление).

539. Какой объем кислорода (н. у.) можно получить разложением в присутствии оксида марганца (IV) пероксида водорода, находящегося в 150 г 5,00%-го раствора?

540. Пероксид водорода, находившийся в 80,0 г водного раствора, полностью разложили. Масса оставшейся жидкости оказалась равной 78,1 г. Вычислите массовую долю пероксида водорода в исходном растворе.

541. Пероксид водорода, находящийся в 3,00%-м растворе массой 200 г, полностью разложили, а выделившийся газ собрали. Оставшуюся жидкость обработали небольшими порциями кальция до прекращения выделения газа. В каком случае газа собрали больше по массе и во сколько раз?

542. Смесь озона с кислородом имеет относительную плотность по водороду, равную 16,4. После разложения части озона относительная плотность по водороду уменьшилась на 1,50%. Вычислите массовую долю озона в образовавшейся смеси газов.

543. После разложения всего озона, находившегося в озонированном кислороде, объем смеси увеличился на 60,0 мл (н. у.). Какая масса озона разложилась?

544. При окислении оксида азота (IV) озоном образовалось 8,96 л (н. у.) кислорода. Вычислите массу второго продукта реакции.

545. Через склянку с раствором иодида калия пропустили 100 л (н. у.) озонированного кислорода, масса склянки при этом увеличилась на 0,800 г. Вычислите объемную долю озона в исходной газовой смеси.

546. В озонаторе реакция синтеза озона из кислорода проходит с выходом 7,50%. Чему будет равен объем озонированного кислорода, если для реакции взято 50,0 л кислорода?

547. В озонаторе реакция синтеза озона из кислорода проходит с выходом 7,50%. Чему будет равна объемная доля озона в озонированном воздухе после пропускания воздуха через озонатор?

548. Объем озонированного кислорода оказался на 2,50% меньше объема кислорода, взятого для озонирования. С каким выходом (%) прошла реакция синтеза озона?

549. Одинаковые объемы кислорода и озонированного кислорода, находящиеся при одинаковых условиях, различаются по массе на m г. Чему равна масса озона в озонированном кислороде?

550. В результате разложения части озона массовая доля его в озонированном кислороде снизилась с 8 до 5%. Объем газовой смеси изменился при этом на 60 мл (н.у.). Вычислите конечный объем газовой смеси.

551. При пропускании воздуха через озонатор получили озонированный воздух с массовой долей озона 2%. Вычислите выход (в %) реакции озонирования (массовую долю кислорода в воздухе принять равной 23,2%).

552. При пропускании смеси кислорода и азота через озонатор получили смесь газов, в которой массовая доля озона составила 3%. Зная, что озонирование прошло с выходом 6%, вычислите плотность исходной газовой смеси при 25 °С и 101 кПа.

553. Пероксид водорода количеством вещества 30 ммоль обработали избытком нейтрального водного раствора перманганата калия. Выделившимся газом окислили достаточное количество гидрида калия. Вычислите суммарное количество вещества щелочи, полученное в ходе обеих реакций.

554. При обработке оксида серебра (I) пероксидом водорода образовалось 5,40 г серебра. Вычислите объем (н. у.) выделившегося при этом газа.

555. Вычислите массу пероксида водорода, вступившего в реакцию с сульфидом никеля (II) в сернокислом растворе, если при этом выделилось 9,60 г серы.

556. При взаимодействии избытка пероксида водорода с перманганатом калия в сернокислом растворе выделилось 5,60 л (н. у.) газа. Вычислите молярные концентрации ионов металлов в получившемся растворе объемом 200 мл.

557. При взаимодействии избытка пероксида водорода с нитратом серебра в аммиачном растворе выделилось 560 мл (н. у.) газа. Вычислите массовую долю нитрата аммония в получившемся растворе массой 200 г.

558. Сульфат марганца (II) обработали в щелочном растворе пероксидом водорода массой 17 г. Вычислите массу образовавшегося оксида марганца (IV).

559. При взаимодействии хлорида золота (III) с пероксидом водорода в щелочной среде образовалось 5,91 г золота. Вычислите объем (н. у.) выделившегося при этом газа.

560. Сульфит натрия массой 12,6 г поместили в 45,5 мл раствора пероксида водорода. Через некоторое время раствор осторожно упарили, а сухой остаток взвесили. Его масса оказалась равной 13,6 г. Вычислите молярную концентрацию пероксида водорода в исходном растворе.

561. Через водный раствор смеси хлорида натрия и иодида натрия пропустили озонированный воздух до прекращения реакции, при этом образовалось 19,05 г иода. При добавлении к той же массе исходного раствора избытка нитрата серебра образовалось 63,95 г осадка. Вычислите массу исходной смеси солей.

562. К 100 г раствора, содержащего смесь пероксида водорода и хлорида бария, добавили 50,0 мл раствора серной кислоты с концентрацией 6,00 моль/л, при этом образовалось 9,32 г белого осадка. Затем к полученной смеси добавили 4,15 г иодида калия, при этом образовалось 1,27 г иода. Вычислите массовые доли веществ в исходном растворе.

563. Через 50,0 мл раствора, содержащего смесь пероксида водорода и хлорида кальция, пропустили избыток озона, в ре-

зультате чего масса раствора уменьшилась на 1,60 г. После добавления к оставшемуся раствору 0,0500 моль нитрата серебра образовалось 5,74 г осадка. Вычислите молярные концентрации веществ в исходном растворе.

2.2. ГАЛОГЕНЫ И ИХ СОЕДИНЕНИЯ

Галогены (фтор, хлор, бром, иод и астат) образуют VII группу периодической системы элементов. Электронная конфигурация их атомов ns^2np^5 (n совпадает с номером периода). *Фтор* наиболее электроотрицательный элемент и в соединениях существует исключительно в степени окисления -1. Остальные галогены имеют и положительные степени окисления. В обычных условиях фтор — светло-желтый газ с сильным запахом, температура плавления -220 °С, температура кипения -183 °С, с водой реагирует даже при температуре ниже 0 °С. *Хлор* — желто-зеленый газ с резким удушающим запахом, температура плавления -101 °С, температура кипения -34 °С, в 100 г воды при н. у. растворяется 461 мл хлора, при этом частично идет диспропорционирование. *Бром* — темно-красная летучая тяжелая жидкость, температура плавления -7 °С, температура кипения $+60$ °С, в 100 г воды при 0 °С растворяется 4,22 г брома. *Иод* — фиолетово-черные с металлическим блеском кристаллы, температура плавления $+113{,}5$ °С, температура кипения $+184$ °С. Для иода характерна возгонка (переход из твердого состояния в газообразное, минуя жидкое). Иод очень плохо растворяется в воде (при 0 °С 16 мг в 100 г воды).

Окислительная способность галогенов убывает от фтора к иоду. Более активный галоген вытесняет менее активный из галогеноводородов или солей галогеноводородных кислот, например:

$$2HBr + Cl_2 \rightarrow 2HCl + Br_2$$

$$2KI + Br_2 \rightarrow 2KBr + I_2$$

Хлор активно реагирует со многими металлами. С медью, например, реакция проходит при комнатной температуре (в присутствии следов влаги):

$$Cu + Cl_2 \rightarrow CuCl_2$$

При незначительном нагревании хлор окисляет даже золото:

$$2Au + 3Cl_2 \rightarrow 2AuCl_3$$

Железо и хром окисляются хлором до соединений Fe (III) и Cr (III) (хром — при высокой температуре, превышающей 1000 °С).

Хлор реагирует и с большинством неметаллов, причем в некоторых случаях могут образовываться разные продукты в зависимости от температурного режима реакции, аллотропных модификаций реагентов, соотношения количеств веществ, например:

$$2P + 3Cl_2 \rightarrow 2PCl_3 \text{ или } 2P + 5Cl_2 \rightarrow 2PCl_5$$

$$S + Cl_2 \rightarrow SCl_2 \text{ или } 2S + Cl_2 \rightarrow S_2Cl_2$$

Хлор реагирует также со сложными веществами, окисляя атомы элементов в промежуточных степенях окисления, например:

$$2FeCl_2 + Cl_2 \rightarrow 2FeCl_3$$

$$PCl_3 + Cl_2 \rightarrow PCl_5$$

Хлор диспропорционирует в воде:

$$Cl_2 + H_2O \rightleftarrows HCl + HClO$$

Однако один из продуктов этой реакции — хлорноватистая кислота — является неустойчивым соединением и постепенно разлагается с выделением кислорода. В связи с этим при долгом стоянии хлорной воды (раствор хлора в воде, содержащий продукты диспропорционирования) в ней завершается реакция:

$$2Cl_2 + 2H_2O \rightarrow 4HCl + O_2\uparrow$$

Эта реакция значительно ускоряется на свету.

Диспропорционирование хлора в растворах щелочей необратимо. На холоду реакция протекает с образованием гипохлорита:

$$Cl_2 + 2OH^- \rightarrow Cl^- + ClO^- + H_2O$$

при нагревании — с образованием хлората:

$$3Cl_2 + 6OH^- \rightarrow 5Cl^- + ClO_3^- + 3H_2O$$

В реакции хлора с раствором гидроксида кальция образуется хлорид-гипохлорит кальция $CaCl(OCl)$ (хлорная известь). Поскольку хлорноватистая кислота является очень слабой, слабее угольной, она вытесняется из солей по реакции:

$$2CaCl(OCl) + CO_2 + H_2O \rightarrow CaCO_3\downarrow + CaCl_2 + 2HClO$$

Бром и иод во многом похожи на хлор, однако они вступают в реакции не со всеми веществами, с которыми реагирует хлор,

и не так энергично. Йод, например, не реагирует с серой, окисляет железо до FeI_2 (при комнатной температуре медленно образуется соединение состава Fe_3I_8).

Галогены могут вступать в реакции между собой, например:

$$I_2 + Cl_2 \rightarrow 2ICl$$

Все галогены образуют галогеноводороды. При нормальных условиях HF — жидкость (температура кипения +19,5 °С), HCl, HBr, HI — газы. Фтороводород в воде растворяется неограниченно, остальные галогеноводороды растворяются очень хорошо: массовые доли их в насыщенных при 0 °С и нормальном давлении растворах составляют: $\omega(HCl) = 45{,}1\%$; $\omega(HBr) = 68{,}8\%$; $\omega(HI) = 70{,}0\%$. Водные растворы галогеноводородов представляют собой кислоты (фтороводородная кислота слабая, остальные — сильные). В галогеноводородных кислотах окислителем может быть только H^+:

$$Fe + 2HCl \rightarrow FeCl_2 + H_2\uparrow$$

$$2Al + 6HCl \rightarrow 2AlCl_3 + 3H_2\uparrow$$

Галогеноводороды (за исключением *HF*) проявляют и восстановительные способности. Хлор образуется при взаимодействии концентрированной соляной кислоты с сильными окислителями, например:

$$MnO_2 + 4HCl \rightarrow Cl_2\uparrow + MnCl_2 + 2H_2O$$

$$2KMnO_4 + 16HCl \rightarrow 5Cl_2\uparrow + 2MnCl_2 + 2KCl + 8H_2O$$

$$K_2Cr_2O_7 + 14HCl \rightarrow 3Cl_2\uparrow + 2CrCl_3 + 2KCl + 7H_2O$$

С помощью этих реакций получают хлор в небольших количествах в лаборатории. Окисление бромид- и иодид-ионов осуществляется значительно большим числом окислителей.

Качественной реакцией на соляную кислоту и хлориды является взаимодействие с нитратом серебра, при этом выпадает белый аморфный осадок хлорида серебра, не растворимый в кислотах:

$$Cl^- + Ag^+ \rightarrow AgCl\downarrow$$

Кислородсодержащие соединения галогенов в большинстве своем неустойчивы. Многие из них самопроизвольно разлагаются, иногда со взрывом. Кислородсодержащие соединения хлора проявляют окислительные свойства, например:

$$KClO + 2HCl \rightarrow Cl_2\uparrow + KCl + H_2O \text{ (в растворе)}$$

$2KClO_3 + 3S \rightarrow 2KCl + 3SO_2\uparrow$ (при нагревании сухой смеси).

Пример 23. Вычислите область допустимых значений массы брома, необходимой для полного бромирования 5,50 г смеси алюминия и железа.

Решение. Бром окисляет оба металла по уравнениям:

$$2Al + 3Br_2 \rightarrow 2AlBr_3 \quad (I)$$

$$2Fe + 3Br_2 \rightarrow 2FeBr_3 \quad (II)$$

Сначала предположим, что вся масса смеси приходится только на алюминий. Рассчитаем количество вещества:

$$\nu(Al) = m(Al) : M(Al);\ \nu(Al) = 5{,}5 : 27 = 0{,}2037 \text{ моль.}$$

По уравнению реакции

$$\nu(Br_2)_I = 1{,}5\nu(Al);\ \text{т. е. } \nu(Br_2) = 1{,}5 \cdot 0{,}2037 = 0{,}3056 \text{ моль.}$$

Теперь предположим, что вся масса смеси приходится только на железо, для которого аналогичным образом рассчитаем количество вещества:

$$\nu(Fe) = 5{,}5 : 56 = 0{,}09821 \text{ моль.}$$

Стехиометрические соотношения галоген : металл в обеих реакциях одинаковы, следовательно,

$$\nu(Br_2)_{II} = 1{,}5 \cdot 0{,}09821 = 0{,}1473 \text{ моль.}$$

Массы брома, соответствующие рассчитанным количествам веществ, вычислим по формуле:

$$m(Br_2) = M(Br_2)\,\nu(Br_2);\ m(Br_2)_I = 0{,}3056 \cdot 160 = 48{,}9 \text{ г};\ m(Br_2)_{II} = 0{,}1473 \cdot 160 = 23{,}6 \text{ г.}$$

Очевидно, что чем больше в смеси алюминия, тем больше потребуется брома, но не более 48,9 г. Аналогично, чем больше в смеси будет железа, тем меньше потребуется брома, но не менее 23,6 г. Таким образом, область допустимых значений массы брома от 23,6 до 48,9 г.

Пример 24. Для окисления 4,080 г галогенида алюминия в подкисленном растворе потребовалось 15,0 мл раствора перманганата калия с концентрацией 0,400 моль/л. Установите состав соли.

Решение. Обозначим соль AlX_3, где X — неизвестный галоген. При добавлении подкисленного раствора $KMnO_4$ протекает реакция:

$$10AlX_3 + 6KMnO_4 + 24H_2SO_4 \rightarrow 6MnSO_4 + 15X_2 + 3K_2SO_4 + 5Al_2(SO_4)_3 + 24H_2O$$

Рассчитаем количество вещества $KMnO_4$ по формуле

$$\nu(KMnO_4) = c(KMnO_4)\,V(KMnO_4,\ р\text{-}р);\ \nu(KMnO_4) = 0{,}015 \cdot 0{,}4 = 0{,}006 \text{ моль.}$$

По уравнению реакции

$$\nu(AlX_3) = {}^{10}/_{6}\nu(KMnO_4) = {}^{10}/_{6} \cdot 0{,}006 = 0{,}01 \text{ моль.}$$

Рассчитаем молярную массу галогенида алюминия:

$$M(AlX_3) = m(AlX_3) : \nu(AlX_3);\ M(AlX_3) = 4{,}08 : 0{,}01 = 408 \text{ г/моль.}$$

Теперь можем определить, какой галоген входил в состав соли:

$$M(X)=\frac{M(AlX_3)-M(Al)}{3};\ M(X)=\frac{408-27}{3}=127\ \text{г/моль}.$$

Такую молярную массу имеет иод, следовательно, соль имела состав AlI_3.

Пример 25. Для окисления иодида металла, имеющего в соединениях постоянную степень окисления, израсходовали 50,0 мл подкисленного раствора перманганата калия с концентрацией 0,100 моль/л. Какой объем раствора дихромата калия с концентрацией 0,200 моль/л требуется для окисления той же массы той же соли в подкисленном растворе?

Решение. Запишем уравнения реакций в ионном виде:

$$10I^- + 2MnO_4^- + 16H^+ \rightarrow 2Mn^{2+} + 5I_2 + 8H_2O \quad (I)$$

$$6I^- + Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ \rightarrow 2Cr^{3+} + 3I_2 + 7H_2O \quad (II)$$

Вычислим количество вещества перманганат-ионов, израсходованных для окисления иодида:

$$\nu(MnO_4^-) = \nu(KMnO_4) = c(KMnO_4)\,V(KMnO_4,\ р\text{-}р);$$

$$\nu(MnO_4^-) = 0{,}5 \cdot 0{,}01 = 0{,}005\ \text{моль}.$$

По уравнению реакции (I):

$$\nu(I^-) = 5\nu(KMnO_4) = 5 \cdot 0{,}005 = 0{,}025\ \text{моль}.$$

По уравнению реакции (II):

$$\nu(Cr_2O_7^{2-}) = {}^1/_6\,\nu(I^-) = {}^1/_6 \cdot 0{,}025 = 0{,}004167\ \text{моль}.$$

Поскольку $\nu(K_2Cr_2O_7) = \nu(Cr_2O_7^{2-}) = 0{,}004167$ моль, можно рассчитать объем раствора дихромата калия:

$$V(K_2Cr_2O_7,\ р\text{-}р) = \nu(K_2Cr_2O_7) : c(K_2Cr_2O_7);$$

$$V(K_2Cr_2O_7,\ р\text{-}р) = 0{,}00416 : 0{,}2 = 0{,}0208\ \text{л или } 20{,}8\ \text{мл}.$$

Пример 26. Смесь бромида кальция и иодида кальция, в которой массовые доли галогенов равны между собой, обработали смесью брома и хлора. Галогены вступили в реакцию полностью, в результате чего получилась смесь двух солей, в которой массовая доля хлора равна 7,5%. Вычислите массовую долю хлора в его смеси с бромом.

Решение. По условию задачи протекают следующие реакции:

$$CaBr_2 + Cl_2 \rightarrow CaCl_2 + Br_2$$

$$CaI_2 + Br_2 \rightarrow CaBr_2 + I_2$$

$$CaI_2 + Cl_2 \rightarrow CaCl_2 + I_2$$

Пусть в исходной смеси $m(Br) = m(I) = m$, тогда количества веществ в исходной смеси можно выразить так:

$$\nu(CaBr_2)_{исх} = m : 160 = 0{,}00625m;\ \nu(CaI_2) = m : 254 = 0{,}003937m.$$

Суммарное количество вещества атомов кальция в исходной смеси будет равно сумме количеств веществ солей:

$$\nu(\mathrm{Ca})_{\text{всего}} = \nu(\mathrm{CaBr_2}) + \nu(\mathrm{CaI_2}) = 0{,}00625m + 0{,}003937m = 0{,}01019m.$$

Очевидно, что количество вещества атомов кальция после протекания всех реакций останется без изменений. Примем, что в конечной смеси $\nu(\mathrm{CaCl_2}) = x$; тогда $\nu(\mathrm{CaBr_2}) = 0{,}01019m - x$.

По условию задачи:

$$\frac{71x}{111x + 200(0{,}01019m - x)} = 0{,}075,$$

откуда $x = 0{,}001967m$

$$\nu(\mathrm{CaCl_2}) = x = 0{,}001967m;\ \nu(\mathrm{CaBr_2})_{\text{итог}} = 0{,}01019m - 0{,}001967m = 0{,}008220m.$$

Количество вещества добавленного брома равно разности между количествами вещества бромида кальция в конечном и исходном состояниях:

$$\Delta\nu(\mathrm{Br_2}) = \nu(\mathrm{CaBr_2})_{\text{итог}} - \nu(\mathrm{CaBr_2})_{\text{исх}} = 0{,}008220m - 0{,}00625m = 0{,}001970m.$$

Количество вещества добавленного хлора равно количеству образовавшегося хлорида кальция:

$$\nu(\mathrm{Cl_2}) = \nu(\mathrm{CaCl_2}) = 0{,}001967m.$$

Теперь можно выразить через m массы вступивших в реакцию галогенов:

$$m(\mathrm{Br_2}) = 160 \cdot 0{,}001970m = 0{,}3152m;\ m(\mathrm{Cl_2}) = 71 \cdot 0{,}001967m = 0{,}1398m.$$

Искомая величина рассчитывается из следующего выражения:

$$\omega(\mathrm{Cl_2}) = m(\mathrm{Cl_2}) : m(\mathrm{Br_2} + \mathrm{Cl_2}) = 0{,}1398m : (0{,}3152m + 0{,}1398m) = 0{,}3073.$$

Ответ: 30,7%.

Пример 27. Смесь бромида бария и иодида бария обработали избытком хлорной воды, полученный раствор выпарили. Масса сухого остатка оказалась в 1,729 раза меньше массы исходной смеси. Во сколько раз масса осадка, полученного после обработки такой же смеси избытком разбавленного раствора серной кислоты, будет меньше массы исходной смеси?

Решение. Хлорная вода окисляет бромид и иодид бария по уравнениям

$$\mathrm{BaBr_2} + \mathrm{Cl_2} \rightarrow \mathrm{BaCl_2} + \mathrm{Br_2} \qquad \text{(I)}$$

$$\mathrm{BaI_2} + \mathrm{Cl_2} \rightarrow \mathrm{BaCl_2} + \mathrm{I_2} \qquad \text{(II)}$$

Избыток хлорной воды частично окисляет иод до иодноватой кислоты:

$$\mathrm{I_2} + 5\mathrm{Cl_2} + 6\mathrm{H_2O} \rightarrow 2\mathrm{HIO_3} + 10\mathrm{HCl}$$

Частично иод окисляется и выделяющимся бромом. Однако для дальнейшего решения задачи это обстоятельство можно не учитывать, так как в сухом остатке в любом случае будет только $\mathrm{BaCl_2}$.

Примем, что $\nu(\mathrm{BaBr_2}) = x$ (моль); $\nu(\mathrm{BaI_2}) = y$ (моль). Из уравнений (I) и (II) видно, что количество вещества $\mathrm{BaCl_2}$, образующегося в этих реакциях, равно сумме количеств веществ $\mathrm{BaBr_2}$ и $\mathrm{BaI_2}$.

Выразим массы веществ по формуле $m(\mathrm{X}) = M(\mathrm{X})\,\nu(\mathrm{X})$:

$m(BaBr_2) = 297x$; $m(BaI_2) = y$ (моль); $m(BaCl_2) = 208(x+y)$.

По условию задачи:

$$\frac{m(BaBr_2)+m(BaI_2)}{m(BaCl_2)} = 1{,}729; \qquad \frac{297x+391y}{208(x+y)} = 1{,}729.$$

Преобразуя это выражение, получаем $x = 0{,}5y$.

Серная кислота реагирует с солями бария, осаждая нерастворимый $BaSO_4$:

$$BaBr_2 + H_2SO_4 \rightarrow BaSO_4\downarrow + 2HBr \qquad \text{(III)}$$

$$BaI_2 + H_2SO_4 \rightarrow BaSO_4\downarrow + 2HI \qquad \text{(IV)}$$

Суммарное количество вещества $BaSO_4$, образующегося в реакциях (III) и (IV), равно суммарному количеству солей бария в исходной смеси, т. е. $x+y$, или, с учетом ранее полученного, $0{,}5y+y=1{,}5y$. Выразив массы $BaBr_2$ и $BaSO_4$ через y, находим ответ задачи:

$$\frac{m(BaBr_2)+m(BaI_2)}{m(BaSO_4)} = \frac{297 \cdot 0{,}5y + 391y}{233 \cdot 1{,}5y} = 1{,}54.$$

Таким образом, масса осадка будет в 1,54 раза больше массы исходной смеси.

ВОПРОСЫ, УПРАЖНЕНИЯ И ЗАДАЧИ

564. Какие из галогенов труднее, а какие легче выделить в свободном состоянии?

565. Как в ряду галогенидов-ионов изменяется восстановительная способность?

566. Объясните, почему фтороводородная кислота является более слабой кислотой, чем соляная.

567. Сравните термическую устойчивость, силу и окислительную способность хлорноватистой и хлорноватой кислот.

568. Сравните физические свойства галогенов между собой.

569. Охарактеризуйте растворимость галогенов в различных растворителях.

570. Приведите примеры использования галогенов и их соединений в медицине.

571. Как можно доказать примесь иодида натрия в растворе хлорида калия?

572. Можно ли с помощью лакмуса доказать, что при растворении хлора в воде образуются кислоты? Ответ поясните.

573. В трех цилиндрах находятся хлороводород, водород и хлор. Как можно узнать, где какой газ находится: а) только по физическим свойствам; б) только по химическим свойствам?

574. В трех пробирках находятся хлорид калия, хлорат калия, бромид калия. Как можно узнать, где какое вещество находится?

575. В трех полиэтиленовых бутылях находятся соляная кислота, плавиковая кислота и водный раствор пероксида водорода. Как можно узнать, где какое вещество находится?

576. В водном растворе находится одновременно пероксид водорода и хлороводород. Как можно доказать наличие в этом растворе всех компонентов (веществ или ионов)?

577. Предложите метод разделения смеси, состоящей из хлорида натрия, иода и фторида кальция.

578. К водному раствору пероксида водорода добавили избыток перманганата калия и нагрели. Получившуюся смесь после удаления воды прокалили, а твердый остаток обработали избытком концентрированной соляной кислоты. Определите состав остатка, полученного после повторного выпаривания.

579. К водному раствору пероксида водорода добавили избыток иодида калия и серной кислоты. Получившуюся смесь после удаления воды прокалили, а твердый остаток обработали избытком хлора и затем нагрели. Определите состав остатка.

580. Имеются вода и бромид цинка. Выберите только одно основание и одно простое вещество и получите с использованием четырех веществ, а также продуктов их взаимодействия, не прибегая к электролизу, бромид натрия, оксид цинка, хлорид цинка, хлороводород, хлорид натрия.

581. Составьте уравнения реакций, протекающих без изменения степеней окисления элементов, по схеме:

$$BaCl_2 \rightarrow X \rightarrow BaI_2$$

582. Напишите уравнения реакций, иллюстрирующих схему:

$$\overset{-1}{Cl} \rightarrow \overset{-1}{Cl} \rightarrow \overset{0}{Cl} \rightarrow \overset{+5}{Cl} \rightarrow \overset{-1}{Cl}$$

583. Напишите уравнения реакций по схеме: хлороводород→хлор→хлорат калия→хлорид калия→хлорид серебра.

584. Напишите уравнения реакций в соответствии со схемой:

Хлорид железа (II)→A→Хлор→B→Кислород→C→Иод

585. Напишите уравнения реакций в соответствии со схемой:

Бром→A→Бромид калия→B→Кислород→C→Водород

586. Напишите уравнения реакций в соответствии со схемой:

Водород→A→NaOH→B→KCl→C→Кислород

587. Напишите уравнения реакций в соответствии со схемой:

Хлорат калия→A→Хлор→B→$FeBr_3$→C→AgBr

588. Составьте уравнения реакций в соответствии со схемой:

$$MgCl_2 \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow MgCl_2$$

Вещества, обозначенные буквами, не повторяются и содержат хлор. В схеме только четыре окислительно-восстановительных реакции — подряд.

589. Составьте уравнения реакций в соответствии со схемой:

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow KClO_3 \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow F$$

A — белое кристаллическое вещество, растворимое в воде, F — газ легче воздуха; вещества, закодированные буквами, не повторяются, в схеме должна быть только одна реакция, протекающая без изменения степеней окисления.

590. При температуре свыше 550 °С бром окисляет воду. В результате реакции образовалось 6,72 л (н. у.) смеси газообразных продуктов. Вычислите массу брома, вступившего в реакцию.

591. Некоторый объем хлора растворили в 50,0 мл воды. Из раствора, оставленного на свету, выделилось всего 44,8 мл кислорода (н. у.). Вычислите массовую долю хлороводорода в получившемся растворе.

592. В некоторой порции воды растворили хлор. После того как из раствора перестал выделяться кислород, выяснилось, что масса получившегося раствора на 2,20 г отличается от массы исходной порции воды. Вычислите, какой объем хлора (н. у.) был растворен.

593. Какая масса иодида калия была окислена оксидом ксенона (VI) в солянокислом растворе, если при этом образовалось 2,62 г ксенона?

594. При взаимодействии 35,0%-й соляной кислоты с перманганатом калия образовалось 1,26 г хлорида марганца (II). Вычислите массу соляной кислоты, вступившей в реакцию.

595. Какая масса оксида марганца (IV) вступила в реакцию с концентрированной соляной кислотой, если при этом образовалось 6,30 г хлорида марганца (II)?

596. Вычислите массу иода, которая образуется при обработке избытком подкисленного раствора перманганата калия смеси дигидрата иодида натрия, иодида калия и иодида магния, в которой массовые доли всех солей равны, а суммарное количество всех веществ составляет 50,0 ммоль.

597. Вычислите область допустимых значений объема хлора (н. у.), который необходим для полного хлорирования 10,0 г смеси железа и меди.

598. Растворимость брома в воде при 20 °С равна 3,20 г на 100 г воды. Какую массу бромной воды следует взять для полного вытеснения иода из иодида лития, находящегося в 200 г 2,68%-го раствора?

599. При пропускании через 200 г 5,00%-го раствора пероксида водорода хлора масса раствора увеличилась на 3,90 г. Вычислите массовые доли веществ в получившемся растворе.

600. Тетрагидрат бромида марганца (II) массой 4,31 г растворили в достаточном объеме воды. Через полученный раствор пропускали хлор до тех пор, пока молярные концентрации обеих солей не сравняются. Вычислите, какой объем хлора (н. у.) был пропущен.

601. Через 150 мл раствора бромида бария с молярной концентрацией соли 0,0500 моль/л пропускали хлор до тех пор, пока массовые доли обеих солей не сравнялись. Вычислите, какой объем хлора (20 °С, 95 кПа) был пропущен.

602. Смесь бромида калия и фторида калия общей массой 100 г растворили в воде; через полученный раствор пропустили избыток хлора. Масса остатка, полученного после выпаривания раствора и прокаливания, оказалась равной 80,0 г. Вычислите массовые доли веществ в полученной смеси.

603. Смесь сульфата натрия и иодида калия обработали избытком бромной воды; масса выделившегося иода оказалась равной 6,35 г. После отделения иода к раствору добавили избыток бромида бария; масса осадка оказалась равной 23,3 г. Вычислите массовые доли веществ в исходной смеси.

604. Через избыток раствора бромида натрия пропустили смесь, состоящую из хлороводорода, азота и хлора общим объемом 1,50 л. В результате реакции образовался бром массой 1,20 г. Объем непоглощенного газа составил 400 мл (н. у.). Вычислите объемные доли газов в исходной смеси.

605. Смесь бромида натрия и иодида натрия обработали избытком хлорной воды, полученный раствор выпарили. Масса сухого остатка оказалась в 2,363 раза меньше массы исходной смеси. Во сколько раз масса осадка, полученного после обработки такой же смеси избытком нитрата серебра, будет больше массы исходной смеси?

606. Смесь иодида магния и иодида цинка обработали избытком бромной воды, полученный раствор выпарили. Масса сухого остатка оказалась в 1,445 раза меньше массы исходной смеси. Во сколько раз масса осадка, полученного после обработки такой же смеси избытком карбоната натрия, будет меньше массы исходной смеси?

607. При обработке избытком бромной воды смеси бромида натрия и иодида натрия масса сухого остатка, полученного после выпаривания и прокаливания, уменьшилась в 1,25 раза по сравнению с массой исходной смеси солей. Вычислите массовые доли веществ в исходной смеси.

608. В смеси бромида железа (II) и бромида меди (I) число атомов меди в 2 раза больше числа атомов железа, а число атомов брома равно $6{,}02 \cdot 10^{23}$. Какой объем хлора (н. у.) требуется для полного окисления этой смеси?

609. При обработке избытком хлорной воды смеси бромида железа (II) и бромида меди (I) масса сухого остатка, полученного после выпаривания раствора и прокаливания, уменьшилась в 1,20 раза по сравнению с массой исходной смеси солей. Вычислите массовые доли веществ в конечной смеси.

610. Через холодный раствор KOH с концентрацией 2,05 моль/л объемом 150 мл (пл. 1,095 г/мл) пропустили 3,53 л (100 кПа, 10 °С) смеси хлора с хлороводородом, имеющую плотность по воздуху 1,655. Вычислите массовые доли солей в получившемся растворе.

611. Какой объем смеси хлора с азотом (давление 98 кПа, температура 5 °С, относительная плотность по водороду 25,0) следует пропустить через 1 кг насыщенного раствора гидроксида кальция для получения максимально возможной массы хлорной извести (растворимость гидроксида кальция при температуре опыта равна 0,18 г в 100 г воды)?

612. Молярное соотношение бромида калия и сульфата калия в смеси равно 2 : 1, а общее число атомов равно $3{,}01 \cdot 10^{23}$. Какая масса брома выделится при обработке этой смеси перманганатом калия в кислой среде?

613. Для окисления 3,190 г галогенида цинка в подкисленном растворе потребовалось 10,0 мл раствора перманганата калия с концентрацией 0,400 моль/л. Установите состав соли.

614. Для окисления 1,030 г галогенида натрия в подкисленном растворе потребовалось 4,00 мл раствора перманганата калия с концентрацией 0,500 моль/л. Установите состав соли.

615. Для окисления иодида металла, имеющего в соединениях постоянную степень окисления, израсходовали 25,0 г насыщенного раствора хлорида железа (III) (растворимость 92 г на 100 г воды). Какая масса 5,00%-го раствора перманганата калия требуется для окисления той же массы той же соли в подкисленном растворе?

616. Для окисления бромида металла, имеющего в соединениях постоянную степень окисления, израсходовали 22,4 мл хлора (н. у.). Какая масса 10,0%-го раствора дихромата аммония требуется для окисления той же массы той же соли в подкисленном растворе?

617. К смеси сульфата аммония и бромида аммония общей массой 21,3 г, находящейся в водном растворе, добавили 208 г 10,0%-го раствора хлорида бария. Масса выпавшего осадка оказалась равной 11,65 г. Полученный после отделения от осадка раствор обработали избытком нитрата серебра. Вычислите массу образовавшегося при этом осадка.

618. К раствору, в котором молярные концентрации бромида натрия и фторида натрия равны, добавили водный раствор,

содержащий 0,0300 моль фторида серебра, в результате чего образовался осадок желтоватого цвета массой 1,88 г. Какой объем 45,0%-го раствора нитрата кальция (пл. 1,42 г/мл) необходимо добавить к раствору, полученному после отделения осадка, до полного прекращения выпадения осадка?

619. Через 13,1 г смеси бромида калия и иодида калия, в которой массовая доля брома равна 24,5%, пропустили смесь хлора и брома, в результате чего получилась смесь двух солей, в которой массовая доля брома равна 57,0%. Вычислите массу смеси галогенов, вступившую в реакцию.

620. Через горячий раствор гидроксида калия пропустили хлор, в результате чего массовая доля щелочи в растворе оказалась больше массовой доли одной соли, но меньше массовой доли другой соли. После выпаривания раствора был получен сухой остаток. Вычислите область допустимых значений объема кислорода (н. у.), который можно выделить прокаливанием этого остатка с небольшим количеством оксида марганца (IV), если известно, что из полученной после прокаливания смеси действием избытка уксусной кислоты было получено 39,2 г ацетата калия.

621. Через смесь натрия и бромида калия, в которой массовая доля брома равна 60%, пропустили хлор, в результате чего масса брома в смеси солей оказалась в 2 раза меньше, чем в исходной смеси. Вычислите массовую долю брома в полученной смеси солей.

622. К смеси калия и иодида натрия, в которой массовая доля калия равна 40%, добавили бром, в результате чего масса иода в полученной смеси солей уменьшилась в 5 раз по сравнению с исходной. Вычислите массовую долю иода в полученной смеси солей.

623. Через водную суспензию, содержащую 37 г гидроксида кальция, пропустили хлор. Массовая доля кальция в сухом остатке, полученном после осторожного удаления воды, составила 42%. К остатку добавили раствор с равными массовыми долями серной кислоты и пероксида водорода, в результате чего образовался нейтральный по лакмусу раствор. Вычислите массу газа, которая выделится из этого раствора при добавлении в него небольшого количества оксида марганца (IV).

2.3. СЕРА И ЕЕ СОЕДИНЕНИЯ

Сера находится в VIA-группе третьего периода периодической системы элементов. Строение внешнего энергетического уровня атома серы $3s^2 3p^4$, т. е. аналогично кислороду. Однако на третьем энергетическом уровне имеется 3*d*-подуровень, который у серы вакантен. За счет возможности при возбуждении рас-

паривания электронов на этот подуровень у серы имеется больше валентных возможностей. В соединениях с более электроотрицательными элементами сера проявляет положительные степени окисления (+1, +2, +4, +6). В соединениях с менее электроотрицательными элементами сера имеет отрицательные степени окисления (−2, −1). Бинарные соединения серы (−2) называют *сульфидами* (например, сульфид фосфора P_4S_{10}; сульфид кремния SiS_2, сульфиды металлов). Сера образует несколько аллотропных модификаций.

В реакциях с кислородом, фтором, хлором, бромом сера выступает в роли восстановителя (с азотом сера непосредственно не реагирует, ее нитрид образуется косвенно.) Сера окисляется также сложными веществами, например концентрированной азотной кислотой при кипячении:

$$S + 6HNO_3\,(конц) \rightarrow H_2SO_4 + 6NO_2\uparrow + 2H_2O$$

В растворах щелочей сера диспропорционирует по реакции

$$4S + 6NaOH\,(конц) \rightarrow Na_2S_2O_3 + 2Na_2S + 3H_2O$$

Этот процесс иногда представляют упрощенно, показывая в качестве продуктов сульфит и сульфид.

В реакциях с простыми веществами, образованными менее электроотрицательными элементами, сера — окислитель. Все сульфиды, кроме HgS, образуются при нагревании:

$$C + 2S \rightarrow CS_2$$

$$2Me + S \rightarrow Me_2S\ (Na_2S,\ Cu_2S,\ Ag_2S)$$

$$Me + S \rightarrow MeS\ (MgS,\ CaS,\ ZnS,\ HgS,\ FeS)$$

$$2Me + 3S \rightarrow Me_2S_3\ (Al_2S_3)$$

Сера может окислять и некоторые сложные вещества. Она реагирует с иодоводородом при нагревании:

$$S + 2HI \rightarrow H_2S + I_2$$

Сероводород — одно из важнейших соединений серы. Это бесцветный газ с неприятным запахом (тухлых яиц); температура плавления −86 °С; температура кипения −60 °С; в 100 г воды при н. у. растворяется 467 мл сероводорода.

Водный раствор сероводорода — сероводородная кислота. Эта кислота очень слабая, концентрация ионов водорода в растворе очень низкая и поэтому H_2S в водных растворах окислительными свойствами практически не обладает. Однако газо-

образный сероводород может вступать в реакции с некоторыми металлами и основными оксидами, образуя сульфиды, например:

$$2H_2S + 2Na \rightarrow 2NaHS + H_2\uparrow$$

$$H_2S + ZnO \rightarrow ZnS + H_2O$$

Сероводород осаждает многие сульфиды металлов из растворов их солей, например меди или свинца:

$$H_2S + Cu(NO_3)_2 \rightarrow CuS\downarrow + 2HNO_3$$

Образование черного осадка PbS является качественной реакцией на сероводород (и его растворимые соли). Некоторые сульфиды (алюминия, хрома, железа, цинка) сероводородом не осаждаются.

Сероводород — сильный восстановитель. В водном растворе он постепенно окисляется кислородом воздуха:

$$2H_2S + O_2 \rightarrow 2H_2O + 2S\downarrow$$

Такая же реакция протекает при горении сероводорода в условиях недостатка кислорода. При достаточном количестве кислорода горение протекает по реакции:

$$2H_2S + 3O_2 \rightarrow 2H_2O + 2SO_2$$

Сероводород окисляется галогенами в водном растворе:

$$H_2S + 4Cl_2 + 4H_2O \rightarrow H_2SO_4 + 8HCl$$

$$H_2S + I_2 \rightarrow 2HI + S\downarrow$$

Окисляют сероводород и многие сложные вещества: концентрированная азотная кислота, дихромат калия, перманганат калия и др. Например:

$$2KMnO_4 + 5H_2S + 3H_2SO_4 \rightarrow 2MnSO_4 + 5S\downarrow + K_2SO_4 + 8H_2O$$

Сероводород — сильный яд.

Важнейшим соединением серы является также ***оксид серы*** (IV) — сернистый газ. Это бесцветный газ с резким запахом, *вызывающим приступы удушья;* температура плавления -75 °С; температура кипения -10 °С; в 100 г воды при н. у. растворяется 79,8 л оксида серы (IV). Водный раствор SO_2 — полигидрат оксида серы (IV) $SO_2 \cdot nH_2O$ (упрощенно — сернистая кислота H_2SO_3) — средняя кислота по I ступени и слабая кислота по II ступени. Оксиду серы (IV) соответствует два ряда солей: *суль-*

фиты и *гидросульфиты*. Оксид серы (IV) может вытеснять слабые кислоты (или соответствующие им оксиды) из их солей:

$$SO_2 + Na_2CO_3 \rightarrow CO_2\uparrow + Na_2SO_3$$

Гидросульфит-ион и оксид серы (IV) вытесняются из солей более сильными кислотами:

$$Na_2SO_3 + HCl \rightarrow NaHSO_3 + NaCl$$

$$Na_2SO_3 + 2HCl \rightarrow SO_2\uparrow + 2NaCl + H_2O$$

$$Na_2SO_3 + CH_3COOH \rightarrow NaHSO_3 + NaCH_3COO$$

Как уже отмечалось, оксид серы (IV) — вещество с двойственной окислительно-восстановительной природой и преобладающей восстановительной функцией:

$$SO_2 + I_2 + 2H_2O \rightarrow 2HI + H_2SO_4$$

$$SO_2 + 2HNO_3\,(\text{конц}) \xrightarrow{t} 2NO_2\uparrow + H_2SO_4$$

$$2SO_2 + O_2 \overset{t,\ \text{кат}}{\rightleftarrows} 2SO_3$$

$$SO_2 + O_3 \rightarrow SO_3 + O_2 \ (\textit{при комнатной температуре}).$$

Сульфиты легко окисляются кислородом во влажном воздухе или в растворах:

$$2K_2SO_3 + O_2 \rightarrow 2K_2SO_4$$

При нагревании (около 600 °С) они диспропорционируют:

$$4K_2SO_3 \rightarrow 3K_2SO_4 + K_2S$$

Как окислитель оксид серы (IV) реагирует с сероводородом (реакция конпропорционирования; протекает при комнатной температуре в присутствии каталитических следов воды):

$$SO_2 + 2H_2S \rightarrow 3S + 2H_2O$$

При высокой температуре оксид серы (IV) окисляет углерод (в виде кокса):

$$SO_2 + C \rightarrow S + CO_2$$

Качественной реакцией на сульфиты является образование при действии сильных кислот (соляной, разбавленной серной) оксида серы (IV) — газа с резким запахом, обесцвечивающим

подкисленный раствор перманганата калия и вызывающий помутнение известковой воды:

$$SO_3^{2-} + 2H^+ \rightarrow SO_2\uparrow + H_2O$$

$$5SO_2 + 2KMnO_4 + 2H_2O \xrightarrow{H^+} 2MnSO_4 + 2H_2SO_4 + K_2SO_4$$

$$Ca(OH)_2\,(\text{избыток}) + SO_2 \rightarrow CaSO_3\downarrow + H_2O$$

В степени окисления +6 сера образует оксид, серную кислоту и ее соли — сульфаты (щелочные металлы и аммиак образуют также гидросульфаты). Оксид серы (VI) — белое вещество с температурой плавления +16,8 °С и температурой кипения +44,7 °С.

Оксид серы (VI) разлагается на оксид серы (IV) и кислород в температурном интервале от 400 до 700 °С. Оксид серы (IV) активно реагирует с водой, образуя серную кислоту. Раствор оксида серы (VI) в концентрированной серной кислоте называется *олеумом*.

Серная кислота — бесцветная, тяжелая (пл. 1,86 г/мл), сиропообразная жидкость, температура плавления +10,4 °С, кипит с разложением при температуре около 300 °С. С водой смешивается во всех отношениях. Серная кислота — сильный окислитель. В ее разбавленных растворах окислительная функция обеспечивается практически всегда только протоном. Так, она реагирует с металлами, стоящими в ряду стандартных электродных потенциалов левее водорода, с выделением водорода:

$$Fe + H_2SO_4 \rightarrow FeSO_4 + H_2\uparrow$$

$$2Al + 3H_2SO_4 \rightarrow Al_2(SO_4)_3 + 3H_2\uparrow$$

В концентрированной серной кислоте функции окислителя выполняет атом серы (VI), который восстанавливается до S(+4) или S(−2), реже — до элементной серы. Очень часто выделяется смесь продуктов восстановления, например, в реакции с цинком образуются и SO_2, и H_2S, и сера, однако основным продуктом будет сероводород:

$$4Zn + 5H_2SO_4 \rightarrow 4ZnSO_4 + H_2S\uparrow + 4H_2O$$

Избыток серной кислоты окисляет сероводород до оксида серы (IV).

Концентрированная серная кислота не реагирует на холоду с некоторыми активными металлами (алюминием, железом, хромом). Однако при нагревании она реагирует не только с этими металлами, но и с такими, как медь, серебро, ртуть, например:

$$Cu + 2H_2SO_4 \rightarrow CuSO_4 + SO_2\uparrow + 2H_2O$$

$$2Fe + 6H_2SO_4 \rightarrow Fe_2(SO_4)_3 + 3SO_2\uparrow + 6H_2O$$

Окисляет концентрированная серная кислота и некоторые неметаллы (при нагревании), например, графит, фосфор и серу:

$$2H_2SO_4 + C \rightarrow 2SO_2\uparrow + CO_2\uparrow + 2H_2O$$

$$3H_2SO_4 + 2P \rightarrow 3SO_2\uparrow + 2H_3PO_3$$

$$2H_2SO_4 + S \rightarrow 3SO_2\uparrow + 2H_2O$$

Концентрированная серная кислота реагирует со многими сложными веществами:

$$H_2SO_4 + 8HI \rightarrow 4I_2 + H_2S\uparrow + 4H_2O$$

$$H_2SO_4 + 2HBr \rightarrow Br_2 + SO_2\uparrow + 2H_2O$$

$$H_2SO_4 + H_2S \rightarrow S\downarrow + SO_2\uparrow + 2H_2O$$

Концентрированная серная кислота обладает водоотнимающими свойствами, многие органические вещества в ней обугливаются, например:

$$6H_2SO_4 + C_6H_{12}O_6 \rightarrow 6C + 6H_2SO_4 \cdot H_2O$$

Сульфаты в водных растворах окислительными свойствами не обладают, однако в твердом состоянии при нагревании они окисляют некоторые вещества, например:

$$Na_2SO_4 + 4C\,(\text{избыток}) \rightarrow Na_2S + 4CO$$

Качественная реакция на серную кислоту и растворимые сульфаты — образование белого кристаллического осадка при добавлении растворимых солей бария:

$$SO_4^{2-} + Ba^{2+} \rightarrow BaSO_4\downarrow$$

Пример 28. Смесь равных масс алюминия и серы нагрели в отсутствие воздуха. После завершения реакции к смеси веществ добавили избыток воды, объем выделившегося газа составил 2,80 л (н. у.). Вычислите, какой объем газа выделится при обработке нерастворившегося остатка избытком соляной кислоты.

Решение. При совместном нагревании алюминия и серы образуется сульфид алюминия:

$$2Al + 3S \rightarrow Al_2S_3 \qquad (I)$$

Пусть $m(Al) = m(S) = m$. Выразим количества веществ обоих реагентов по формуле $\nu(X) = m(X) : M(X)$;

$$\nu(Al) = m : 27 = 0{,}03704m;\ \nu(S) = m : 32 = 0{,}03125m.$$

Из уравнения реакции очевидно, что $\nu(S)$ должно в 1,5 раза превышать $\nu(Al)$. Однако по расчетам $\nu(S) < \nu(Al)$, следовательно, сера в реакцию вступает полностью, а алюминий — нет.

Таким образом, перед обработкой водой в смеси веществ будут образовавшийся Al_2S_3 и не вступивший в реакцию алюминий.

Сульфид алюминия полностью гидролизуется в присутствии воды:

$$Al_2S_3 + 6H_2O \rightarrow 2Al(OH)_3\downarrow + 3H_2S\uparrow \qquad (II)$$

По уравнению реакции $\nu(H_2S) = \nu(S) = 0{,}03125m$.

Рассчитаем количество вещества H_2S по условию задачи:

$$\nu(H_2S) = V(H_2S) : V_m;$$

$$\nu(H_2S) = 2{,}8 : 22{,}4 = 0{,}125 \text{ моль},$$

откуда

$$0{,}03125m = 0{,}125;\ m = 4.$$

Определим, сколько алюминия вступило в реакцию с серой и сколько осталось:

$$\nu(Al)_{вст I} = {}^2/_3 \nu(S) = {}^2/_3 \cdot 0{,}03125 \cdot 4 = 0{,}08333 \text{ моль};$$

$$\nu(Al)_{исх} = 0{,}03704 \cdot 4 = 0{,}1482 \text{ моль};$$

$$\nu(Al)_{ост I} = \nu(Al)_{исх} - \nu(Al)_{вст I} = 0{,}1482 - 0{,}08333 = 0{,}06487 \text{ моль}.$$

После реакции (II) в смеси веществ будут находиться алюминий и гидроксид алюминия. С соляной кислотой протекают реакции

$$2Al + 6HCl \rightarrow 2AlCl_3 + 3H_2\uparrow \qquad (III)$$

$$Al(OH)_3 + 3HCl \rightarrow AlCl_3 + 3H_2O \qquad (IV)$$

Газ выделяется только в реакции (III).

По уравнению реакции

$$\nu(H_2) = 1{,}5 \cdot \nu(Al)_{ост I} = 1{,}5 \cdot 0{,}06487 = 0{,}09731 \text{ моль}.$$

Теперь рассчитаем объем выделившегося водорода:

$$V(H_2) = \nu(H_2) V_m;$$

$$V(H_2) = 0{,}09731 \cdot 22{,}4 = 2{,}18 \text{ л}.$$

Пример 29. Сульфид массой 22,0 г, в состав которого входит металл в степени окисления +1, обработали избытком разбавленного раствора серной кислоты. Выделившийся газ пропустили через 100 г 24,0%-го раствора гидроксида натрия, в результате чего получился раствор с равными молярными концентрациями соли и щелочи. Установите, какой металл входил в состав сульфида.

Решение. При взаимодействии сульфида с разбавленным раствором H_2SO_4 может выделиться только сероводород, который в реакции со щелочью вновь образует сульфид. Поскольку в условии задачи сказано, что щелочь вступила в реакцию не полностью, гидросульфид образоваться не мог:

$$Me_2S + H_2SO_4 \rightarrow Me_2SO_4 + H_2S\uparrow \qquad (I)$$

$$H_2S + 2NaOH \rightarrow Na_2S + 2H_2O \qquad (II)$$

Вычислим количество вещества щелочи в растворе:

$$\nu(\text{NaOH}) = \frac{m(\text{NaOH,р-р})\,\omega(\text{NaOH})}{M(\text{NaOH})};\ \nu(\text{NaOH}) = \frac{100 \cdot 0{,}24}{40} = 0{,}6 \text{ моль}.$$

Примем, что $\nu(Na_2S)_{обр} = \nu(NaOH)_{ост} = x$ (моль).

По уравнению реакции (II)

$$\nu(\text{NaOH}) = 2\nu(Na_2S) = 2x.$$

Таким образом, можно составить уравнение:

$$2x + x = 0{,}6, \text{ откуда } x = 0{,}2.$$

Следовательно, $\nu(Me_2S) = \nu(Na_2S) = 0{,}2$ моль.

Теперь можно рассчитать молярную массу исходного сульфида и определить, какой металл входил в его состав:

$$M(\text{MeS}) = m(\text{MeS}) : \nu(\text{MeS});\ M(\text{MeS}) = 22 : 0{,}2 = 110 \text{ г/моль};$$

$$M(\text{Me}) = \frac{M(\text{MeS}) - M(\text{S})}{2};\ M(\text{Me}) = \frac{110 - 32}{2} = 39 \text{ г/моль}.$$

Такую молярную массу имеет калий.

Пример 30. Смешали 50,0 мл раствора гидросульфита калия ($c = 1{,}50$ моль/л) и 75,0 мл раствора сульфита натрия ($c = 1{,}20$ моль/л). К полученному раствору добавили 25,0 мл раствора KOH, после чего молярная концентрация гидросульфит-ионов снизилась до 0,250 моль/л. Вычислите молярную концентрацию сульфит-ионов в получившемся растворе.

Решение. Вычислим количества веществ ионов в исходном растворе по формуле

$$\nu(X) = c(X)V(X,\text{р-р});$$

$$\nu(HSO_3^-)_{исх} = \nu(KHSO_3)_{исх} = 0{,}05 \cdot 1{,}5 = 0{,}075 \text{ моль};$$

$$\nu(SO_3^{2-})_{исх} = \nu(Na_2SO_3)_{исх} = 0{,}075 \cdot 1{,}2 = 0{,}09 \text{ моль}.$$

Поскольку смешиваются достаточно разбавленные водные растворы двух солей, можно считать:

$$V(\text{р-р})_{итог} = V(KHSO_3,\text{р-р}) + V(Na_2SO_3,\text{р-р}) + V(\text{KOH,р-р});$$

$$V(\text{р-р})_{итог} = 0{,}05 + 0{,}075 + 0{,}025 = 0{,}150 \text{ л}.$$

Вычислим воспользовавшись уже приведенной формулой количество вещества гидросульфит-ионов в конечном растворе:

$$\nu(HSO_3^-)_{ост} = 0{,}25 \cdot 0{,}150 = 0{,}0375 \text{ моль}.$$

Теперь можно рассчитать, сколько гидросульфит-ионов вступило в реакцию со щелочью по уравнению:

$$HSO_3^- + OH^- \rightarrow SO_3^{2-} + H_2O$$

$$\nu(HSO_3^-)_{вст} = \nu(HSO_3^-)_{исх} - \nu(HSO_3^-)_{ост} = 0{,}075 - 0{,}0375 = 0{,}0375 \text{ моль}.$$

Из приведенного уравнения реакции следует, что

$$\nu(SO_3^{2-})_{обр} = \nu(HSO_3^-)_{вст} = 0{,}0375 \text{ моль}.$$

Таким образом, в полученном растворе суммарное количество вещества сульфит-ионов составит:

$$\nu(SO_3^{2-})_{итог} = \nu(SO_3^{2-})_{исх} + \nu(SO_3^{2-})_{обр} = 0{,}09 + 0{,}0375 = 0{,}1275 \text{ моль}.$$

Искомую концентрацию найдем по формуле

$$c(SO_3^{2-}) = \nu(SO_3^{2-}) : V(\text{р-р})_{итог};$$

$$c(SO_3^{2-})_{итог} = 0{,}1275 : 0{,}150 = 0{,}85 \text{ моль/л}.$$

Пример 31. Для окисления 1,16 г сульфита, катион в котором имеет заряд +1 и в данных условиях не окисляющийся, потребовалось добавить 80,0 мл раствора, в котором молярные концентрации перманганата калия и серной кислоты равны 0,0500 и 0,0750 моль/л, соответственно. Установите состав и вычислите массу остатка, который получится при выпаривании раствора после реакции.

Решение. Запишем уравнение протекающей реакции

$$5X_2SO_3 + 2KMnO_4 + 3H_2SO_4 \rightarrow 2MnSO_4 + K_2SO_4 + 5X_2SO_4 + 3H_2O,$$

где X — неизвестный катион.

Вычислим количества веществ $KMnO_4$ и H_2SO_4, содержащихся в растворе, которым окислили сульфит:

$$\nu = cV;\ \nu(KMnO_4) = 0{,}05 \cdot 0{,}08 = 0{,}004 \text{ моль};$$

$$\nu(H_2SO_4) = 0{,}075 \cdot 0{,}08 = 0{,}006 \text{ моль}.$$

Таким образом, соотношение между количествами веществ $KMnO_4$ и H_2SO_4 соответствовало стехиометрическому (2 : 3).

По уравнению реакции

$$\nu(X_2SO_3) = {}^5/_2\,\nu(KMnO_4) = 2{,}5 \cdot 0{,}004 = 0{,}01 \text{ моль}.$$

Молярная масса сульфита равна:

$$M(X_2SO_3) = m(X_2SO_3) : \nu(X_2SO_3);\ M(X_2SO_3) = 1{,}16 : 0{,}01 = 116 \text{ г/моль}.$$

Теперь можно рассчитать молярную массу катиона:

$$M(X) = \frac{M(X_2SO_3) - M(SO_3)}{2};\quad M(X) = \frac{116 - 80}{2} = 18.$$

Такая молярная масса соответствует иону аммония.

Кроме сульфата аммония, в остатке после выпаривания раствора останутся также $MnSO_4$ и K_2SO_4.

Найдем их количества веществ, исходя из стехиометрических соотношений:

$$\nu(MnSO_4) = \nu(KMnO_4) = 0{,}004 \text{ моль};$$

$$\nu(K_2SO_4) = 0{,}5\nu(KMnO_4) = 0{,}002 \text{ моль};$$

$$\nu((NH_4)_2SO_4) = \nu((NH_4)_2SO_3) = 0{,}01 \text{ моль}.$$

Рассчитаем теперь массы всех трех образовавшихся солей по формуле $m = Mv$:

$$m(MnSO_4) = 0{,}004 \cdot 151 = 0{,}604 \text{ г}; \; m(K_2SO_4) = 0{,}002 \cdot 174 = 0{,}348 \text{ г};$$

$$m((NH_4)_2SO_4) = 0{,}01 \cdot 132 = 1{,}32 \text{ г}.$$

Теперь можно определить массу всего остатка:

$$m_{сумм} = m(MnSO_4) + m(K_2SO_4) + m((NH_4)_2SO_4) = 0{,}604 + 0{,}348 + 1{,}32 = 2{,}27 \text{ г}.$$

ВОПРОСЫ, УПРАЖНЕНИЯ И ЗАДАЧИ

624. Охарактеризуйте отношение серы к металлам и неметаллам. Приведите два уравнения реакций, в одной из которых сера является окислителем, а в другой — восстановителем.

625. В приведенных ниже парах элементов укажите элемент с большей электроотрицательностью: а) сера и кислород; б) сера и хлор; в) сера и мышьяк. Объясните.

626. Сравните между собой по термической устойчивости и силе кислот сероводород, селеноводород и теллуроводород.

627. Объясните, почему сера в отличие от кислорода может проявлять в соединениях степень окисления +6.

628. Объясните разницу в физических свойствах воды и сероводорода.

629. Приведите формулы серосодержащих кислот. Все ли эти формулы реально отражают состав вещества? Сравните кислоты между собой по термической устойчивости, силе, окислительно-восстановительной способности.

630. Приведите электронную формулу серной кислоты. Укажите характер связей между атомами.

631. С какими металлами концентрированная серная кислота не реагирует даже при нагревании?

632. Чем отличаются друг от друга по строению аллотропные модификации серы?

633. Приведите примеры трех кислых солей, отличающихся друг от друга степенью окисления серы.

634. Кратко охарактеризуйте значение серы для жизнедеятельности. В составе каких соединений сера находится преимущественно в природе? Приведите примеры ядовитых соединений серы. Приведите примеры использования сульфатов в медицине.

635. Напишите уравнения реакций, иллюстрирующих схему: сульфид → сера → оксид серы (IV) → сульфит → сульфит.

636. Напишите уравнения реакций, иллюстрирующих схему:

$$\overset{+6}{S} \rightarrow \overset{+6}{S} \rightarrow \overset{-2}{S} \rightarrow \overset{-2}{S} \rightarrow \overset{0}{S} \rightarrow \overset{+4}{S} \rightarrow \overset{+4}{S} \rightarrow \overset{+4}{S}$$

637. Как можно химическим способом определить примесь сероводорода в водороде?

638. Почему нельзя удалить следы влаги из сероводорода, пропуская его через концентрированную серную кислоту?

639. Как из сульфида железа получить сульфид свинца, используя водные растворы только одной кислоты и одной соли?

640. В трех цилиндрах находятся газы: оксид серы (IV), бромоводород, сероводород. Как можно идентифицировать каждый газ?

641. В трех пробирках находятся соли: сульфит калия, сульфид натрия и сульфат магния. Как идентифицировать каждую соль?

642. Предложите способ разделения оксида серы (IV) и водорода.

643. Укажите, с каким из перечисленных веществ будет вступать в окислительно-восстановительные реакции оксид серы (IV): перманганатом калия, магнием, хлоридом натрия, фосфорной кислотой, сероводородом, углекислым газом, сульфатом алюминия. Напишите уравнения реакций.

644. Напишите молекулярное и ионное уравнения реакции, протекающей между иодом и оксидом серы (IV) в щелочном растворе.

645. Приведите уравнения реакций получения кислой соли сероводородной кислоты по схеме:

$$X \xrightarrow{+NaOH} \text{Соль} \xleftarrow{+HCl} Y$$

646. Приведите уравнения реакций получения кислой соли сернистой кислоты по схеме:

$$X \xrightarrow{+KOH} \text{Соль} \xleftarrow{+H_2SO_4} Y$$

647. Приведите уравнения реакций получения среднего сульфида по схеме:

$$X \xrightarrow{\text{реакция обмена}} \text{Соль} \xleftarrow{\text{восстановление}} Y$$

648. Приведите уравнения реакций получения среднего сульфата по схеме:

$$X \xrightarrow{\text{реакция обмена}} \text{Соль} \xleftarrow{\text{окисление}} Y$$

649. К смеси, состоящей из шести твердых средних солей, добавили концентрированную серную кислоту и нагрели. По окончании реакции выяснилось, что остаток представляет только

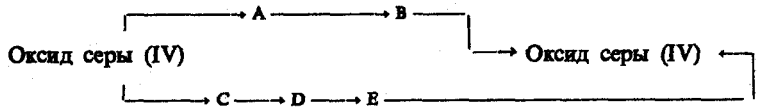
не растворимую в воде соль, которая отсутствовала в исходной смеси. Какие соли могли находиться в исходной смеси? Составьте уравнения реакций.

650. Имеются вода и сульфит бария. Выберите только одну кислоту и одну соль и получите с использованием четырех веществ, а также продуктов их взаимодействия (без электролиза) сульфат бария, иодид бария, оксид серы (IV), сульфит магния, иодид магния.

651. Имея только иодид калия, концентрированную серную кислоту и воду, получите девять серосодержащих соединений.

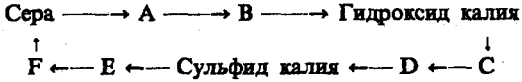
652. Напишите уравнение реакции, протекающей при нагревании твердого сульфата натрия с избытком графита.

653. Напишите уравнения реакций в соответствии со схемой:

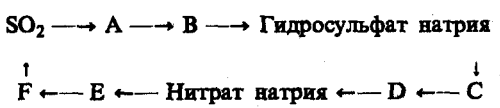


Одна последовательность реакций включает только окислительно-восстановительные, другая — только обменные.

654. Составьте уравнения в соответствии со схемой:

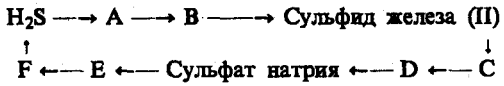


655. Составьте уравнения в соответствии со схемой:



Вещества не повторяются. В схеме три реакции соединения — подряд.

656. Составьте уравнения в соответствии со схемой:



Вещества не повторяются, в состав каждого вещества входят атомы серы. В схеме четыре окислительно-восстановительные реакции.

Простые вещества

657. Какой объем воздуха (н. у.) необходим для сгорания 10,0 г серы, содержащей 2,00% негорючих примесей?

658. Смесь равных масс магния и серы нагрели в отсутствие воздуха. После завершения реакции к твердому веществу добавили избыток соляной кислоты. Вычислите плотность (г/л) выделившегося газа (н. у.).

659. Смесь равных масс кальция и серы нагрели в отсутствие воздуха. После завершения реакции к твердому веществу добавили избыток соляной кислоты. Вычислите, во сколько раз масса нерастворившегося остатка будет меньше массы исходной смеси.

660. Смесь равных масс алюминия и серы нагрели в отсутствие воздуха. После завершения реакции к твердому веществу добавили избыток соляной кислоты. Вычислите плотность (г/л) выделившегося газа (н. у.).

661. В горячий 90,0%-й раствор азотной кислоты поместили некоторую массу серы. После ее полного растворения, сопровождавшегося выделением бурого газа, массовая доля азотной кислоты уменьшилась в 1,20 раза. Вычислите массовые доли кислот, находящихся в растворе.

Сероводород и сульфиды

662. При пропускании сероводорода через бромную воду окраска, присущая брому, исчезла, одновременно образовалась сера массой 0,640 г. Какая масса брома вступила в реакцию?

663. При пропускании сероводорода объемом 2,80 л (н. у.) через бромную воду окраска, присущая брому, исчезла. Вычислите массу образовавшейся при этом серы.

664. Сероводород объемом 3,36 л (н. у.) сгорел без остатка, при этом образовалось 1,60 г серы. Вычислите объем израсходованного кислорода.

665. Какой объем 5,00%-го раствора NaOH (пл. 1,05 г/мл) потребуется для нейтрализации 150 г насыщенного водного раствора сероводорода? Растворимость сероводорода составляет 2,50 объема в 1,00 объеме воды при 20 °С и нормальном давлении.

666. Смесь сульфида кальция и гидросульфида калия общей массой 18,0 г обработали избытком разбавленной серной кислоты. Какой минимальный объем 25,4%-го раствора гидроксида калия (пл. 1,24 г/мл) потребуется для поглощения выделившегося газа?

667. Какой объем сероводорода (н. у.) потребуется пропустить через 32,5 г 16,0%-го раствора ацетата свинца, чтобы массовая доля ацетата свинца уменьшилась вдвое?

668. Сульфид щелочного металла массой 4,60 г обработали избытком разбавленной серной кислоты. Выделившийся газ сожгли в условиях недостатка кислорода, при этом образовалось 1,60 г твердого остатка и 1,12 л (н. у.) газа. Установите состав сульфида.

669. Через 75,0 г воды пропустили сероводород до полного насыщения при 20 °С (растворимость 0,378 г в 100 г воды). После того, как приготовленный раствор постоял некоторое время на свету, в нем образовался осадок массой 0,120 г. Вычислите остаточную массовую долю сероводорода в растворе.

670. Смесь карбоната бария, хлорида калия и сульфида металла (степень окисления металла +2) общей массой 36,85 г, в которой равны количества вещества всех солей, обработали избытком соляной кислоты. Объем выделившейся смеси газов составил 4,48 л (н. у.). Установите, какой сульфид входил в состав смеси.

671. Через 150 мл раствора, в котором концентрация дихромата калия равна 0,400 моль/л, а серной кислоты 2,00 моль/л, пропустили 3,36 л (н. у.) сероводорода. Вычислите количества веществ, находящихся в получившемся растворе.

672. Через нейтральный водный раствор перманганата калия пропускали сероводород до полного исчезновения фиолетовой окраски раствора. В результате реакции получили осадок массой 2,70 г и раствор объемом 120 мл. Вычислите молярную концентрацию вещества, находящегося в получившемся растворе.

673. Сульфид массой 22,0 г, в состав которого входит металл в степени окисления +2, обработали избытком соляной кислоты. Выделившийся газ пропустили через 50,0 мл раствора гидроксида натрия с концентрацией 7,50 моль/л. В результате этого получился раствор с равными молярными концентрациями кислой и средней соли. Установите, какой металл входил в состав сульфида.

674. В насыщенном растворе сероводорода его концентрация равна 0,1 моль/л. В каком соотношении по объему следует смешать насыщенный раствор сероводорода и 0,5%-й раствор сульфата меди (плотность раствора принять равной 1 г/мл), чтобы число ионов меди в растворе оказалось равным числу ионов меди в осадке?

675. Растворимость в 100 г воды сероводорода и хлора при нормальном давлении и 40 °С равны соответственно 166 и 144 мл. В каком соотношении по массе нужно смешать насыщенные растворы двух этих газов, чтобы вещества прореагировали полностью с образованием прозрачного раствора?

676. При растворении 2,91 г сульфида металла, имеющего в соединениях постоянную степень окисления +2, в точно рассчитанном объеме 20,0%-й соляной кислоты массовая доля соли в растворе, полученном после полного удаления газа, оказалась равной 0,318. Установите формулу сульфида.

677. Растворимость оксида серы(IV) и сероводорода в 100 г воды при 10 °С равны 16,2 г и 500 мг, соответственно. Через 150 г насыщенного раствора сероводорода пропускали оксид серы(IV) до тех пор, пока не получился его насыщенный раствор. К полученному раствору добавили равную массу раствора с массовой долей брома, равной 3,2%. Вычислите массовые доли всех веществ в конечном растворе.

Оксид серы (IV) и сульфиты

678. Количество вещества оксида серы (IV), пропущенного через раствор гидроксида калия, в 1,5 раза меньше количества вещества щелочи. Вычислите, в каком соотношении по массе находятся соединения калия в образовавшемся растворе.

679. При действии избытка соляной кислоты на гидросульфит аммония выделилось 0,896 л (н. у.) газа. Какая масса соли вступила в реакцию?

680. Соляная кислота объемом 448 мл с молярной концентрацией хлороводорода 0,1116 моль/л полностью вступила в реакцию с гептагидратом сульфита натрия, при этом выделилось 448 мл (н. у.) газа. Вычислите массу соли, вступившей в реакцию.

681. При действии избытка раствора азотной кислоты на сульфит калия выделилось 448 мл (н. у.) бесцветного газа. Вычислите массу соли, вступившей в реакцию.

682. Известно, что сероводород и оксид серы (IV) прореагировали между собой полностью. Чему была равна объемная доля сероводорода в исходной газовой смеси?

683. Смешали 2,50 л оксида серы (IV) и 5,50 л сероводорода. Объемы обоих газов были измерены при 100 °С и 95,0 кПа. Вычислите массу образовавшегося твердого вещества.

684. Через водный раствор иода пропустили 4,48 л (н. у.) оксида серы (IV). Вычислите массу образовавшегося при этом иодоводорода.

685. При пропускании оксида серы (IV) в раствор перманганата калия, содержащий KOH, образовалось 1,74 г оксида марганца (IV). Вычислите массу вступившей в реакцию щелочи.

686. Сульфит натрия массой 2,52 г обработали перманганатом калия в сернокислом растворе. Вычислите массу образовавшейся при этом соли марганца.

687. При окислении 16,6 г сульфита щелочного металла избытком перманганата калия в нейтральной среде образовалось

6,09 г осадка. Установите, какой металл входил в состав сульфита.

688. Через 100 мл раствора карбоната натрия с концентрацией 0,100 моль/л пропустили 448 мл (н. у.) оксида серы (IV). Раствор осторожно выпарили. Установите состав сухого остатка и его массу.

689. К водному раствору, содержащему смесь гидросульфита калия и сульфата калия, до прекращения выделения газа следует добавить 10,0 мл соляной кислоты с концентрацией хлороводорода 5,00 моль/л. Какую массу перманганата калия в слабощелочном растворе требуется добавить к такой же смеси, чтобы в растворе, полученном после отделения осадка, оказалась только одна соль?

690. При 20 °С и 101 кПа в 1 объеме воды растворяется 40 объемов оксида серы (IV). Какой объем насыщенного водного раствора оксида серы (IV) (пл. 1,02 г/мл) можно нейтрализовать с помощью 100 мл раствора KOH с массовой долей 14,0% (пл. 1,12 г/мл)?

691. Смешали 1,58%-й раствор перманганата калия и 1,58%-й раствор сульфита калия в соотношении по массе 2 : 3. Вычислите массовую долю калия в растворе после окончания реакции и отделения осадка.

692. Смешали 80,0 мл раствора гидросульфита калия ($c = 1{,}60$ моль/л) и 80,0 мл раствора сульфита калия. К полученному раствору добавили 2,00 мл раствора гидроксида калия. Выяснилось, что молярная концентрация гидросульфита калия в новом растворе равна 0,617 моль/л. Вычислите молярную концентрацию добавленного раствора гидроксида калия.

693. Растворимость оксида серы(IV) и сероводорода в 100 г воды при нормальных условиях равны 7,98 л и 467 мл, соответственно. Через 150 г насыщенного раствора оксида серы (IV) пропускали сероводород до тех пор, пока не получился его насыщенный раствор. Какой объем раствора перманганата калия с молярной концентрацией 0,05 моль/л следует добавить к полученному раствору, чтобы в надосадочной жидкости содержалось только одно вещество — кислая соль?

694. Какой объем подкисленного раствора перманганата калия с концентрацией 0,0500 моль/л может обесцветить смесь оксида углерода (IV) и оксида серы (IV), в которой на два атома серы приходится девять атомов кислорода, а число атомов углерода в 2 раза меньше числа Авогадро?

695. Через 273 г 10,0%-го раствора перманганата калия пропустили 13,44 л (н. у.) смеси оксида серы (IV) и азота, имеющей плотность по водороду 18,5. Вычислите массовые доли веществ в образовавшемся растворе.

696. Какой объем (н. у.) смеси оксида серы (IV) и азота с плотностью по водороду, равной 25, необходимо пропустить через 120 мл 4%-го раствора перманганата калия (пл. 1,027 г/мл) для полного его обесцвечивания?

697. В 100 г воды растворяется 3,20 г брома. Какая масса насыщенного раствора брома была добавлена к раствору, в котором содержался гидросульфит кальция массой 10,1 г, если при этом образовался осадок массой 1,36 г?

698. При обработке смеси сульфида натрия и сульфита натрия избытком разбавленной соляной кислоты выделяется 672 мл (н. у.) газа. При обработке избытком гидроксида бария такой же смеси той же массы образуется 4,34 г осадка. Вычислите массы солей, находившихся в исходной смеси.

699. Какой объем подкисленного раствора перманганата калия с концентрацией 0,100 моль/л может обесцветить смесь сульфита калия, сульфита натрия и гидросульфата натрия общей массой 12,0 г (молярное соотношение солей соответственно 1 : 3 : 20)?

700. Дигидрат сульфита щелочного металла обработали избытком пероксида водорода. Масса безводной соли, выделенной из раствора, оказалась в 1,115 раза меньше массы исходной соли. Установите состав обоих соединений.

701. Для окисления 3,255 г сульфита, который образован металлом, имеющим в соединениях постоянную степень окисления (+2), добавили 150 г 3,20%-го водного раствора брома. Для полного обесцвечивания не вступившего в реакцию брома через полученную смесь пропустили 336 мл оксида серы (IV) (н. у.). Вычислите массовые доли веществ в получившемся растворе.

702. Для окисления 2,17 г сульфита, который образован металлом, имеющим в соединениях постоянную степень окисления (+2), добавили хлорную воду, содержащую 1,42 г хлора. К полученной смеси добавили избыток бромида калия, при этом выделилось 1,60 г брома. Вычислите массу находящегося в смеси осадка.

703. Через 200 мл раствора смеси гидроксида натрия и гидроксида калия пропустили 17,92 л смеси азота и оксида серы (IV) с плотностью 2,448 г/л (н. у.); при этом образовалось только две кислые соли. Вычислите концентрацию гидроксид-ионов в исходном растворе.

704. Растворимости в 100 г воды оксида серы (IV) и хлора при 40 °С равны соответственно 5,41 и 0,451 г. Вычислите массовые доли веществ в растворе, полученном смешением насыщенных растворов этих газов и в котором на один атом серы приходится три атома хлора.

705. В закрытом сосуде при 500 °С были приведены в контакт 0,200 моль оксида серы (IV) и 2,00 г графита. Реакция прошла с выходом 50,0%. Вычислите массовые доли солей, которые образуются при пропускании смеси газов, полученной в реакторе, через 200 мл раствора гидроксида калия с концентрацией 7,50 моль/л (пл. 1,31 г/мл).

706. В реактор для синтеза оксида серы (VI) ввели смесь оксида серы (IV) и кислорода в объемном соотношении 1 : 3. Вычислите объемные доли газов в полученной смеси, если известно, что выход реакции равен 30,0%.

707. В реактор для синтеза оксида серы (VI) ввели смесь оксида серы (IV) и кислорода в объемном соотношении 1 : 1. Как изменится давление (при постоянной температуре) в реакторе после установления равновесия, если выход продукта реакции составит 40,0%?

708. В реактор для синтеза оксида серы (VI) ввели смесь оксида серы (IV) и кислорода с равными массовыми долями. Как изменится давление (при постоянной температуре) в реакторе после установления равновесия, если выход продукта составит 60,0%?

709. В реактор для синтеза оксида серы (VI) ввели смесь оксида серы (IV) с избытком кислорода. В момент установления равновесия давление снизилось на 10,0% (температура не изменялась). Учитывая, что выход продукта реакции составил 75,0%, вычислите относительную плотность исходной смеси газов по воздуху.

Серная кислота и сульфаты

710. При прокаливании смеси гидросульфата натрия и хлорида натрия в сухом остатке оказался только сульфат натрия. Какую часть массы (%) потеряла исходная смесь при прокаливании?

711. После прекращения выделения газа, сопровождавшего прокаливание смеси гидросульфата калия и хлорида калия, массовая доля в сухом остатке хлорида калия оказалась равной 25,0%. Вычислите, какой объем газа выделился, если масса исходной смеси была равна 150 г.

712. Вычислите, во сколько раз масса выделяющегося иода больше массы сероводорода при окислении твердого иодида натрия концентрированной серной кислотой.

713. Смешали одинаковые массы 10,0%-х растворов серной кислоты и сульфата магния. Масса магниевой стружки, опущенной в этот раствор, уменьшилась по окончании реакции на 2,00 г. Вычислите массовые доли веществ в растворе, полученном после добавления 130 г воды.

714. Смешали 5,00 мл раствора гидросульфата натрия с концентрацией 0,500 моль/л и 10,0 мл раствора сульфита натрия с концентрацией 0,150 моль/л. Раствор выпарили. Вычислите массовые доли веществ в полученном остатке.

715. Смесь общей массой 90,2 г солей магния, образованных серной, азотной и соляной кислотами, обработали раствором хлорида бария объемом 1,00 л с концентрацией 0,200 моль/л. Масса осадка оказалась равной 23,3 г. В полученный после отделения осадка раствор добавили избыток раствора нитрата серебра, в результате чего образовалось 115 г осадка. Вычислите массовые доли солей в исходной смеси.

716. Смесь массой 64,8 г, состоящую из карбоната и сульфата одного и того же однозарядного катиона, растворили в воде и обработали избытком хлорида бария, при этом образовалось 125,4 г осадка. Такую же смесь такой же массы обработали в водном растворе избытком хлорида магния; при этом образовалось 33,6 г осадка. Вычислите массовые доли солей в исходной смеси солей.

717. Смесь сульфита калия и сульфата аммония разделили на две равные части. Одну обработали избытком водного раствора гидроксида бария, при этом образовалось 1,784 г осадка. Другая часть обесцветила 10,0 мл подкисленного раствора перманганата калия с концентрацией 0,200 моль/л. Вычислите массу исходной смеси.

718. При обработке смеси сульфида калия и сульфата натрия избытком раствора иода образуется 3,20 г осадка. При добавлении в полученную смесь избытка иодида бария образуется дополнительно 11,65 г осадка. Вычислите массовые доли солей, находившихся в исходной смеси.

719. Смесь сульфита и сульфата щелочного металла общей массой 15,0 г обработали избытком соляной кислоты, при этом выделилось 896 мл (н. у.) газа. Такую же исходную смесь такой же массы обработали избытком раствора нитрата бария; масса осадка оказалась равной 20,3 г. Установите, какой металл входил в состав солей.

720. В 98,0%-м растворе серной кислоты растворили при нагревании медь, вследствие чего массовая доля кислоты снизилась до 86,5%. Вычислите массовую долю сульфата меди в полученном растворе.

721. Смесь серы и углерода общей массой 5,00 г с молярным соотношением компонентов 2 : 3 растворили в избытке горячего раствора концентрированной серной кислоты. Полученную смесь газов пропустили через раствор гидроксида лития. Масса гидроксида лития после этого в растворе оказалась равной 5,00 г. Вычислите, какая масса 10,0%-го раствора гидроксида лития была взята для поглощения газов.

722. К раствору, в котором массовые доли сульфата магния и серной кислоты равны 2,4 и 4,9% соответственно, добавили сульфид магния. В полученном растворе массой 100 г массовые доли кислоты и соли различаются на 1%. Выделившийся в ходе реакции газ собрали и смешали с оксидом серы(IV), в результате чего образовалось 574 мг твердого вещества. Вычислите, какой объем раствора перманганата калия с концентрацией 0,05 моль/л может вступить в реакцию с оставшимся газом.

Олеум

723. Вычислите, во сколько раз изменится массовая доля серной кислоты в водном растворе после добавления к 500 г 40,0%-го раствора H_2SO_4 40,0 г 50,0%-го олеума.

724. Вычислите, на сколько изменится массовая доля оксида серы (VI) в олеуме после добавления к 500 г 40,0%-го олеума 40,0 г 50,0%-го раствора серной кислоты.

725. Вычислите массы 20,0%-го олеума и 20,0%-го раствора серной кислоты, необходимые для приготовления 20,0 г 80,0%-го раствора серной кислоты.

726. Вычислите массы 20,0%-го олеума и 80,0%-го раствора серной кислоты, необходимые для приготовления 20,0 г 10,0%-го олеума.

727. В каком соотношении по массе нужно смешать 90,0%-й раствор серной кислоты и 30,0%-й олеум для получения 100%-й серной кислоты?

728. В олеуме молярное соотношение кислоты и оксида равно 1 : 1. Вычислите массовую долю оксида после добавления олеума к воде в соотношении по массе 20 : 1.

729. В олеуме молярное соотношение кислоты и оксида равно 1 : 1. Вычислите массовую долю кислоты в растворе после добавления олеума к десятикратной по массе порции воды.

730. Какой объем соляной кислоты с концентрацией хлороводорода 5,00 моль/л нужно добавить к 25,0 г олеума, в котором молярное соотношение оксид : кислота равно 1 : 1, чтобы в полученном растворе сравнялись: а) массовые доли кислот; б) молярные концентрации кислот?

731. К 5,00 г 20,0%-го олеума добавили 20,0 г 5,00%-го раствора серной кислоты. Какой объем водорода (н. у.) может выделиться при взаимодействии полученного раствора с избытком железа?

732. К 10,0 г 30,0%-го олеума добавили 200 мл раствора серной кислоты с концентрацией 0,500 моль/л. Какая масса насыщенного раствора гидроксида калия (растворимость 112 г в 100 г

воды) требуется для получения максимальной массы кислой соли?

733. Массовая доля серы в олеуме равна 0,350. Вычислите, какой объем 26,0%-го раствора хлорида бария (пл. 1,28 г/мл) может вступить в реакцию с 1,52 г этого олеума.

2.4. АЗОТ И ЕГО СОЕДИНЕНИЯ

Азот находится в VA-группе второго периода периодической системы элементов. Строение внешнего энергетического уровня атома азота $2s^2 2p^3$. Максимальное число связей, которое может образовывать атом азота, равно 4 (три связи по обменному механизму за счет трех неспаренных электронов и одной по донорно-акцепторному механизму за счет неподеленной пары электронов). В соединениях с более электроотрицательными элементами (фтор и кислород) азот проявляет положительные степени окисления от +2 до +5, например, NO, фторид азота (III) NF_3, N_2O_4, HNO_3. В соединениях с остальными, т. е. менее электроотрицательными элементами, азот имеет отрицательные степени окисления от −3 до −1, например, NH_3, гидразин N_2H_4, гидроксиламин NH_2OH. Бинарные соединения азота (−3) называются нитридами (например, нитрид хлора Cl_3N, нитрид кальция Ca_3N_2). Известны также соединения, в молекулах которых находится несколько атомов азота, различающихся степенью окисления, как, например, в нитрате аммония. К таким соединениям относится оксонитрид азота (V) NON, который раньше назывался оксидом азота (I), так как считалось, что оба атома азота в нем имеют степень окисления +1. По современным представлениям в молекуле этого соединения один атом имеет степень окисления −3, а другой +5.

Азот образует очень прочную двухатомную молекулу, достаточно инертную. При обычных условиях азот вступает в реакцию только с литием, со всеми остальными веществами реагирует только при повышенной температуре. Азот — бесцветный газ без запаха и вкуса; температура плавления −210 °С; температура кипения −196 °С; в 100 г воды при н. у. растворяется 2,35 мл азота.

Азот практически не проявляет восстановительных свойств; со фтором и кислородом вступает в реакции только в искровом разряде

$$N_2 + 3F_2 \rightarrow 2NF_3$$

$$N_2 + O_2 \rightleftarrows 2NO \text{ (с незначительным выходом).}$$

Азот реагирует с некоторыми неметаллами: с водородом (реакция приводилась выше), графитом:

$$N_2 + 2C \rightleftarrows C_2N_2 \text{ (в электрическом разряде)}.$$

Азот окисляет многие легкие металлы, переводя их в нитриды:

$$N_2 + 6Na \rightarrow 2Na_3N$$

$$N_2 + 3Mg \rightarrow Mg_3N_2$$

$$N_2 + 2Al \rightarrow 2AlN$$

В степени окисления -3 азот образует аммиак, соли аммония и нитриды.

Аммиак — бесцветный газ с резким запахом; температура плавления -78 °С, температура кипения -33 °С; хорошо растворим в воде (в 100 г воды растворяется при н. у. 115 л аммиака), при 20 °С массовая доля аммиака в насыщенном растворе составляет 33%. Как уже отмечалось, аммиак является слабым основанием. Он образует соли со всеми сильными кислотами и многими слабыми кислотами, например:

$$2NH_3 + H_2SO_4 \rightarrow (NH_4)_2SO_4$$

$$NH_3 + CH_3COOH \rightarrow NH_4CH_3COO$$

Аммиак вытесняется из солей щелочами или основными оксидами, образованными щелочными или щелочно-земельными металлами (для выделения газообразного аммиака требуется нагревание):

$$NH_4NO_3 + KOH \rightarrow NH_3\uparrow + KNO_3 + H_2O$$

$$2NH_4Cl + CaO \rightarrow CaCl_2 + 2NH_3\uparrow + H_2O$$

Аммиак осаждает гидроксиды металлов (кроме магния), например:

$$2NH_3 + 2H_2O + FeCl_2 \rightarrow 2NH_4Cl + Fe(OH)_2\downarrow$$

Атом азота в молекуле аммиака может отдавать электроны, т. е. выполнять функцию восстановителя. Атомы водорода, наоборот, могут принимать электроны, играя роль окислителя. Восстановительная функция значительно преобладает. Аммиак способен восстанавливать при нагревании железо и металлы, стоящие в ряду стандартных электродных потенциалов правее железа, из их оксидов, например:

$$2NH_3 + 3CuO \rightarrow 3Cu + N_2 + 3H_2O$$

Аммиак при нагревании окисляет активные металлы. Магний и алюминий — до нитридов, например:

$$2NH_3 + 2Al \rightarrow 2AlN + 3H_2$$

а щелочные и щелочно-земельные металлы — до амидов, например:

$$2NH_3 + 2Na \rightarrow 2NaNH_2 + H_2$$

Аммиак окисляется кислородом до N_2 и NO. В отсутствие катализатора образуется преимущественно молекулярный азот:

$$4NH_3 + 3O_2 \rightarrow 2N_2 + 6H_2O$$

а в присутствии катализатора (платины) — оксид азота (II):

$$4NH_3 + 5O_2 \rightarrow 4NO + 6H_2O$$

Аммиак окисляется хлором:

$$8NH_3 + 3Cl_2 \rightarrow N_2 + 6NH_4Cl$$

Соли аммония обратимо гидролизуются по катиону:

$$NH_4^+ + H_2O \rightleftarrows NH_3 \cdot H_2O + H^+$$

(сульфид и фосфат в водном растворе гидролизуются полностью до кислых солей).

Соли аммония термически неустойчивы и все разлагаются при нагревании, например:

$$NH_4Cl \rightarrow NH_3 + HCl \ (\sim 340\ ^\circ C)$$

$$NH_4NO_2 \rightarrow N_2 + 2H_2O \ (\sim 70\ ^\circ C)$$

$$NH_4NO_3 \rightarrow N_2O + 2H_2O \ (\sim 200\ ^\circ C)$$

$$(NH_4)_2CO_3 \rightarrow 2NH_3 + H_2O + CO_2 \ (\sim 70\ ^\circ C)$$

Все *нитриды металлов* являются твердыми веществами ионного строения. Они полностью гидролизуются в воде и в разбавленных растворах кислот, например:

$$Ca_3N_2 + 6H_2O \rightarrow 3Ca(OH)_2 + 2NH_3$$

$$Li_3N + 4HCl \rightarrow NH_4Cl + 3LiCl$$

Азот образует несколько *оксидов*. Оксиды азота NO (бесцветный газ), NO_2 (бурый газ) и N_2O_4 (желтая жидкость или бесцветные кристаллы) — устойчивые соединения. Между ними существуют взаимные переходы:

$$N_2O_4 \rightleftarrows 2NO_2 \rightleftarrows 2NO + O_2$$

(температурный диапазон существования NO_2 от 20 до 600 °С).

Оксид азота (III) N_2O_3 в обычных условиях практически полностью разлагается на NO_2 и NO. Оксид азота (V) N_2O_5 — неустойчивое вещество белого цвета, способное к самопроизвольному разложению, часто сопровождающемуся взрывом:

$$2N_2O_5 \rightarrow 4NO_2 + O_2$$

Оксиду азота (II) NO и оксиду азота (IV) NO_2 присуща окислительно-восстановительная двойственность:

$$2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2 \quad (NO \text{ — восстановитель})$$

$$2NO + 2H_2 \rightarrow N_2 + 2H_2O \quad (NO \text{ — окислитель})$$

$$4NO_2 + O_2 + 2H_2O \rightarrow 4HNO_3 \quad (NO_2 \text{ — восстановитель})$$

$$10NO_2 + 8P \rightarrow 4P_2O_5 + 5N_2 \quad (NO_2 \text{ — окислитель})$$

Окислительные свойства у NO_2 значительно преобладают.

Оксид азота (IV) диспропорционирует в горячей воде:

$$3NO_2 + H_2O \rightarrow 2HNO_3 + NO\uparrow$$

и в растворах щелочей:

$$2NO_2 + 2NaOH \rightarrow NaNO_3 + NaNO_2 + H_2O$$

Нитриты — соли слабой азотистой кислоты HNO_2. Эта кислота термически не устойчива и существует только в разбавленных водных растворах. При подкислении растворов солей азотистой кислоты происходит реакция:

$$2NO_2^- + 2H^+ \rightarrow NO\uparrow + NO_2\uparrow + H_2O$$

Нитриты обладают окислительно-восстановительной двойственностью (см. реакции с KI и $KMnO_4$ в разделе 1.6).

Азотная кислота — сильный электролит и сильный окислитель. Практически во всех случаях окислителем служит N (+5). Степень восстановления азота зависит от силы восстановителя и концентрации кислоты (в большинстве случаев образуется смесь продуктов).

Например, реакции с неактивными металлами:

$$4HNO_3 \text{ (конц)} + Cu \rightarrow Cu(NO_3)_2 + 2NO_2\uparrow + 2H_2O$$

$$8HNO_3 \text{ (разб)} + 3Cu \rightarrow 3Cu(NO_3)_2 + 2NO\uparrow + 4H_2O$$

Например, реакции с активными металлами:

$$4HNO_3\ (разб) + Fe \rightarrow Fe(NO_3)_3 + NO\uparrow + 2H_2O$$

$$12HNO_3\ (разб) + 5Fe \rightarrow 5Fe(NO_3)_2 + N_2\uparrow + 6H_2O\ (при\ охлаждении)$$

$$10HNO_3\ (конц) + 4Ca \rightarrow 4Ca(NO_3)_2 + N_2O\uparrow + 5H_2O$$

$$10HNO_3\ (разб) + 4Ca \rightarrow 4Ca(NO_3)_2 + NH_4NO_3 + 3H_2O$$

На холоду концентрированная азотная кислота пассивирует хром и железо, а алюминий пассивируется и разбавленной азотной кислотой. При нагревании пассивирование снимается. Водород в реакциях азотной кислоты с металлами выделяется очень редко (только магний и кальций с холодной разбавленной азотной кислотой).

Концентрированная азотная кислота окисляет и некоторые неметаллы (при нагревании), например:

$$6HNO_3 + S \rightarrow H_2SO_4 + 6NO_2\uparrow + 2H_2O$$

$$5HNO_3 + P \rightarrow H_3PO_4 + 5NO_2\uparrow + H_2O$$

Например, реакции окисления азотной кислотой сложных веществ:

$$8HNO_3\ (конц) + CuS \rightarrow CuSO_4 + 8NO_2\uparrow + 4H_2O$$

$$8HNO_3\ (разб) + 3CuS \rightarrow 3S\downarrow + 2NO\uparrow + 3Cu(NO_3)_2 + 4H_2O$$

$$2HNO_3\ (конц) + SO_2 \rightarrow H_2SO_4 + 2NO_2\uparrow$$

$$4HNO_3\ (конц) + 2KI \rightarrow I_2 + 2NO_2\uparrow + 2KNO_3 + 2H_2O$$

(все вышеприведенные реакции протекают при нагревании).

Азотная кислота — летучее соединение, поэтому она вытесняется концентрированной серной кислотой из кристаллических солей, например:

$$NaNO_3\ (т) + H_2SO_4\ (конц) \rightarrow NaHSO_4 + HNO_3\uparrow$$

Соли азотной кислоты — *нитраты* — в нейтральном водном растворе окислительными свойствами не обладают. При подкислении растворов нитратов становятся возможными такие же реакции, как и с участием разбавленной азотной кислоты, например:

$$3FeCl_2 + KNO_3 + 4HCl \rightarrow 3FeCl_3 + KCl + NO\uparrow + 2H_2O$$

В щелочной среде нитраты окисляют активные металлы (магний, алюминий, цинк), например:

$$4Zn + NaNO_3 + 7NaOH + 6H_2O \rightarrow 4Na_2[Zn(OH)_4] + NH_3\uparrow$$

В твердом состоянии нитраты — сильные окислители, реагирующие при нагревании со многими восстановителями, например:

$$4NaNO_3 + 5C \rightarrow 2Na_2O + 5CO_2 + 2N_2$$

Нитраты при нагревании разлагаются. Нитраты калия и натрия образуют при этом нитриты:

$$2KNO_3 \rightarrow 2KNO_2 + O_2$$

При разложении нитратов серебра и других менее активных, чем серебро, металлов, образуются оксид азота (IV), кислород и металл, например:

$$2AgNO_3 \rightarrow 2Ag + 2NO_2 + O_2$$

Большинство других нитратов образуют при разложении оксид азота (IV), кислород и оксид металла, например:

$$2Cu(NO_3)_2 \rightarrow 2CuO + 4NO_2 + O_2$$

Пример 32. В смеси оксида и нитрида магния количество вещества атомов азота на 1,5 моль больше количества вещества атомов кислорода и на 1,5 моль меньше количества вещества атомов магния. Вычислите массу этой смеси.

Решение. Пусть $\nu(MgO) = x$ (моль); $\nu(Mg_3N_2) = y$ (моль). Выразим количества веществ всех атомов, входящих в смесь:

$$\nu(Mg) = x + 3y;\ \nu(O) = x;\ \nu(N) = 2y.$$

По условию задачи:

$$\begin{cases} x + 1{,}5 = 2y, \\ 2y + 1{,}5 = x + 3y \end{cases}$$

Совместное решение уравнений дает результат: $x = 0{,}5$; $y = 1$.

Теперь по формуле $m = M\nu$ найдем массы обоих веществ и массу всей смеси:

$$m(MgO) = 40 \cdot 0{,}5 = 20 \text{ г};\ m(Mg_3N_2) = 100 \cdot 1 = 100 \text{ г};$$

$$m(\text{смеси}) = m(MgO) + m(Mg_3N_2) = 20 + 100 = 120 \text{ г}.$$

Пример 33. При обработке водой смеси гидрида и нитрида одного металла (степень окисления +2) с равными массовыми долями образовалась газовая смесь с плотностью по водороду 2,658. Установите, какой металл входил в состав соединений.

Решение. Гидрид и нитрид гидролизуются водой:

$$MeH_2 + 2H_2O \rightarrow Me(OH)_2 + 2H_2\uparrow \quad (I)$$

$$Me_3N_2 + 6H_2O \rightarrow 3Me(OH)_2 + 2NH_3\uparrow \quad (II)$$

При условии равенства массовых долей компонентов в смеси равны и массы. Пусть $m(MeH_2) = m(Me_3N_2) = m$; $M(Me) = x$. Выразим молярные массы компонентов смеси через x:

$$M(MeH_2) = x + 2;\ M(Me_3N_2) = 3x + 28.$$

По уравнениям реакций

$$\nu(H_2) = 2\nu(MeH_2);\ \nu(NH_3) = 2\nu(Me_3N_2).$$

В соответствии с предыдущими рассуждениями:

$$\nu(H_2) = 2m : (x + 2);\ \nu(NH_3) = 2m : (3x + 28).$$

Вычислим среднюю молярную массу полученной газовой смеси:

$$M_{ср} = 2D_{водород} = 2 \cdot 2{,}658 = 5{,}316 \text{ г/моль}.$$

Чтобы составить уравнение, связывающее количества веществ газов и среднюю молярную массу, воспользуемся формулой:

$$\frac{M(H_2)\nu(H_2) + M(NH_3)\nu(NH_3)}{\nu(H_2) + \nu(NH_3)} = M_{ср};\ \frac{2\dfrac{2m}{x+2} + 17\dfrac{2m}{3x+28}}{\dfrac{2m}{x+2} + \dfrac{2m}{3x+28}} = 5{,}316.$$

Решение уравнения дает результат $x = 40$. Следовательно, в состав гидрида и нитрида входил кальций.

Пример 34. К 200 г 14,6%-й соляной кислоты добавили 15,8 г неорганического вещества, в результате чего выделилось 4,48 л углекислого газа (н. у.). Установите состав раствора в массовых долях. Известно, что сухой остаток, полученный при выпаривании раствора, полностью улетучивается при прокаливании.

Решение. Полностью улетучиваются при прокаливании соли аммония, поэтому добавленное вещество (X) может быть карбонатом или гидрокарбонатом аммония. Запишем реакции взаимодействия с соляной кислотой для обоих веществ:

$$NH_4HCO_3 + HCl \rightarrow NH_4Cl + CO_2\uparrow + H_2O \quad (I)$$

$$(NH_4)_2CO_3 + 2HCl \rightarrow 2NH_4Cl + CO_2\uparrow + H_2O \quad (II)$$

Вычислим количество вещества хлороводорода, находящегося в растворе, и оксида углерода (IV), выделившегося в реакции:

$$\nu(HCl) = m(HCl,р\text{-}р)\,\omega(HCl) : M(HCl);$$

$$\nu(HCl) = 200 \cdot 0{,}146 : 36{,}5 = 0{,}8 \text{ моль};$$

$$\nu(CO_2) = V(CO_2) : V_m;\ \nu(CO_2) = 4{,}48 : 22{,}4 = 0{,}2 \text{ моль}.$$

По уравнению реакции $\nu(X) = \nu(CO_2)$, следовательно, $\nu(X) = 0{,}2$ моль.

Найдем молярную массу вещества X по формуле

$$M(X) = m(X) : \nu(X);\ M(X) = 15{,}8 : 0{,}2 = 79 \text{ г/моль}.$$

Таким образом, установили, что исходное вещество — NH_4HCO_3.

В соответствии со стехиометрическими соотношениями:

$$\nu(NH_4Cl)_{обр} = \nu(HCl)_{вст} = \nu(CO_2) = 0{,}2 \text{ моль};$$

$$\nu(HCl)_{ост} = \nu(HCl)_{исх} - \nu(HCl)_{вст} = 0{,}8 - 0{,}2 = 0{,}6 \text{ моль}.$$

Рассчитаем массы веществ, находящихся в растворе, и выделяющегося углекислого газа по формуле $m = Mv$:

$$m(HCl) = 36{,}5 \cdot 0{,}6 = 21{,}9 \text{ г}; \; m(NH_4Cl) = 53{,}5 \cdot 0{,}2 = 10{,}7 \text{ г};$$

$$m(CO_2) = 44 \cdot 0{,}2 = 8{,}8 \text{ г}.$$

Для вычисления массовых долей необходимо предварительно рассчитать массу раствора:

$$m(\text{р-р})_{итог} = m(HCl,\text{р-р}) + m(NH_4HCO_3) - m(CO_2);$$

$$m(\text{р-р})_{итог} = 200 + 15{,}8 - 8{,}8 = 207 \text{ г}.$$

Последний этап решения — расчет массовых долей веществ по формуле

$$\omega(\text{вещества}) = m(\text{вещества}) : m(\text{р-р}); \; \omega(HCl) = 21{,}9 : 207 = 0{,}106;$$

$$\omega(NH_4Cl) = 10{,}7 : 207 = 0{,}0517,$$

т. е. массовая доля NH_4Cl равна 5,17%, а хлороводорода 10,6%.

Пример 35. При прокаливании смеси нитрата натрия с нитратом металла (степень окисления +3, в ряду напряжений находится между Mg и Cu) образовалось 27,3 г твердого остатка и выделилось 34,72 л газов (н. у.). После пропускания газов через раствор гидроксида натрия образовалось две соли, а объем газов сократился до 7,84 л. Установите строение нитрата, входившего в состав смеси.

Решение. Нитраты при нагревании разлагаются:

$$2NaNO_3 \rightarrow 2NaNO_2 + O_2\uparrow \qquad (I)$$

$$4Me(NO_3)_3 \rightarrow 2Me_2O_3 + 12NO_2\uparrow + 3O_2\uparrow \qquad (II)$$

Щелочью поглощается только NO_2

$$2NO_2 + 2NaOH \rightarrow NaNO_3 + NaNO_2 + H_2O \qquad (III)$$

Вычислим количество вещества NO_2:

$$\nu(NO_2) = V(NO_2) : V_m; \; \nu(NO_2) = (34{,}72 - 7{,}84) : 22{,}4 = 1{,}2 \text{ моль}.$$

По уравнению реакции (III)

$$\nu(Me_2O_3) = {}^1/_6 \nu(NO_2); \; \nu(Me_2O_3) = {}^1/_6 \cdot 1{,}2 = 0{,}2 \text{ моль};$$

$$\nu(O_2)_{II} = 1{,}5\nu(Me_2O_3) = 0{,}3 \text{ моль}.$$

В реакциях (I) и (II) всего выделилось

$$\nu(O_2)_{сумм} = V(O_2) : V_m; \; \nu(O_2)_{сумм} = 7{,}84 : 22{,}4 = 0{,}35 \text{ моль}.$$

В реакции (I) выделилось кислорода

$$\nu(O_2)_I = \nu(O_2)_{сумм} - \nu(O_2)_{II} = 0{,}35 - 0{,}3 = 0{,}05 \text{ моль}.$$

По уравнению реакции (I) $\nu(NaNO_2) = 2\nu(O_2)_I = 0{,}1$ моль. Вычислим массу образовавшегося нитрита натрия по формуле

$$m = M\nu;\ m(NaNO_2) = 0{,}1 \cdot 69 = 6{,}9 \text{ г}.$$

Таким образом, масса оксида неизвестного металла равна

$$m(Me_2O_3) = 27{,}3 - 6{,}9 = 20{,}4 \text{ г}.$$

Теперь можно рассчитать молярную массу этого оксида по формуле

$$M(Me_2O_3) = m(Me_2O_3) : \nu(Me_2O_3);\ M(Me_2O_3) = 20{,}4 : 0{,}2 = 102 \text{ г/моль}.$$

Молярная масса металла будет равна

$$M(Me) = \frac{M(Me_2O_3) - 3M(O)}{2};\ M(Me) = \frac{102 - 3 \cdot 16}{2} = 27 \text{ г/моль}.$$

Металл — алюминий, соль $Al(NO_3)_3$.

Пример 36. При окислении аммиака в присутствии катализатора кислород израсходовался полностью. В полученной смеси при 850 °С объемные доли оксида азота (II) и азота равны 0,305 и 0,0169, соответственно. Вычислите массовую долю аммиака в этой смеси.

Решение. При каталитическом окислении аммиака наряду с основной (I) протекает также реакция окисления до азота (II):

$$4NH_3 + 5O_2 \rightarrow 4NO + 6H_2O \quad (I)$$

$$4NH_3 + 3O_2 \rightarrow 2N_2 + 6H_2O \quad (II)$$

Количества вещества воды, а следовательно, и объемы, и объемные доли воды стехиометрически связаны с продуктами окисления аммиака, в реакции (I) — с оксидом азота, а в реакции (II) — с азотом:

$$\varphi(H_2O)_I = 1{,}5\varphi(NO) = 1{,}5 \cdot 0{,}305 = 0{,}4575;\ \varphi(H_2O)_{II} = 3\varphi(N_2) = 3 \cdot 0{,}0169 = 0{,}0507.$$

Таким образом, можно вычислить суммарную объемную долю воды в конечной смеси:

$$\varphi(H_2O)_{сумм} = 0{,}4575 + 0{,}0507 = 0{,}5082.$$

Тогда объемная доля аммиака составит:

$$\varphi(NH_3) = 1 - \varphi(NO) - \varphi(H_2O) - \varphi(N_2) = 1 - 0{,}305 - 0{,}5082 - 0{,}0169 = 0{,}17.$$

Зная объемные доли всех веществ в смеси, можно рассчитать среднюю взвешенную молярную массу смеси:

$$M_{ср} = M(NO)\varphi(NO) + M(H_2O)\varphi(H_2O) + M(N_2)\varphi(N_2) + M(NH_3)\varphi(NH_3) =$$

$$= 30 \cdot 0{,}305 + 18 \cdot 0{,}5082 + 28 \cdot 0{,}0169 + 17 \cdot 0{,}17 = 21{,}66 \text{ г/моль}.$$

Рассчитаем массовую долю аммиака:

$$\omega(NH_3) = M(NH_3)\,\varphi(NH_3) : M_{ср} = 0{,}17 \cdot 17 : 21{,}66 = 0{,}133.$$

Ответ: 13,3%.

ВОПРОСЫ, УПРАЖНЕНИЯ И ЗАДАЧИ

734. Приведите электронное строение молекул азота и аммиака. Укажите тип перекрывающихся электронных орбиталей.

735. Приведите электронную конфигурацию нитрид-иона. Какие еще положительно и отрицательно заряженные ионы имеют такую же конфигурацию?

736. Чему равны степени окисления и валентность азота в следующих молекулах и ионах: аммиаке, ионе аммония, азотистой кислоте, нитрит-ионе, азотной кислоте, нитрат-ионе. Изобразите их графические формулы.

737. Какой тип кристаллической решетки характерен для твердого азота?

738. Объясните, почему водородные соединения азота и фтора проявляют разные кислотно-основные свойства.

739. Объясните, почему NH_3 проявляет основные свойства, а HNO_3 — кислотные.

740. Опишите физические свойства газообразных (при обычных условиях) соединений азота.

741. Сравните растворимость в воде азота и кислорода.

742. Приведите формулы шести оксидов азота. Какие из них относятся к кислотным?

743. Молекула оксида азота (II) имеет нечетное число электронов, что обусловливает способность этого соединения к димеризации при низких температурах. Составьте графическую формулу оксида азота и уравнение его димеризации. Приведите еще одно соединение, молекула которого содержит неспаренный электрон.

744. Почему оксид азота (IV) способен к реакции димеризации, а оксид серы (IV) — нет? Составьте графические формулы этих двух оксидов.

745. Положение равновесия реакции

$$\underset{\text{бурый}}{2NO_2} \rightleftarrows \underset{\text{бесцветный}}{N_2O_4}$$

полностью смещено влево при 140 °С; вправо — при −11 °С. Как изменяется плотность паров и интенсивность окраски смеси при охлаждении?

746. Оксид азота (I) разлагается при температуре выше 500 °С, поэтому может поддерживать горение многих веществ.

Напишите уравнения реакций горения в оксиде азота (I) магния, фосфора, аммиака.

747. Оксид азота (III) и оксид азота (V) — неустойчивые соединения, при температуре около 50 °С они почти полностью разлагаются. В первом случае образуются два оксида азота, во втором — оксид азота и кислород. Составьте уравнения реакций и укажите, к каким типам окислительно-восстановительных реакций они относятся.

748. В каких условиях в природе образуется оксид азота (II)? Приведите уравнение реакции.

749. Азот по электроотрицательности занимает промежуточное положение между кислородом и хлором; однако и кислород, и хлор являются значительно более реакционно-способными веществами как в реакциях с металлами, так и с неметаллами. Объясните, почему.

750. Приведите два уравнения реакций, в одной из которых азот является окислителем, а в другой — восстановителем.

751. Приведите по одному примеру металла и неметалла, с которыми будут реагировать и кислород, и хлор, и сера, и азот. Укажите разницу в условиях проведения реакций.

752. Составьте уравнение реакции разложения перманганата аммония при нагревании.

753. Составьте уравнение реакции окисления аммиака перманганатом калия в слабощелочном растворе.

754. Напишите уравнение реакции диспропорционирования оксида азота (IV) в растворе гидроксида стронция.

755. Сравните между собой по свойствам азотную и азотистую кислоту (термическая устойчивость, сила электролита, окислительно-восстановительные свойства).

756. Почему азотная кислота в отличие от соляной может реагировать с некоторыми металлами, стоящими в ряду стандартных электродных потенциалов после водорода?

757. Приведите пример азотсодержащего соединения, вступающего в реакции разложения, замещения, обмена. Составьте уравнения этих реакций.

758. Приведите пример азотсодержащего соединения, вступающего в реакции разложения, замещения, соединения. Составьте уравнения этих реакций.

759. В виде каких соединений в природе находится азот?

760. Охарактеризуйте медико-биологическую роль азота, кратко опишите его биогеохимический цикл («круговорот»).

761. Приведите примеры ядовитых соединений азота.

762. Приведите примеры соединений азота, применяющихся в медицине.

763. Какие вещества могут попарно вступать в реакции: азот, нитрат железа (III), азотная кислота, оксид азота (II), аммиак, хлорид аммония. Обязательно укажите условия (температуру, давление, при необходимости — катализатор, растворитель и т. д.), при каких они протекают.

764. Как можно экспериментально подтвердить, что некоторая порция азота, находящаяся в закрытом сосуде, содержит в качестве примеси: а) хлор; б) аммиак; в) сероводород; г) хлороводород; д) озон; е) оксид азота (II); ж) фтороводород?

765. В трех цилиндрах находятся следующие газы: оксид азота (I), азот, оксид азота (II). Как можно идентифицировать каждый газ?

766. В трех цилиндрах находятся следующие газы: аммиак, оксид азота (IV), оксид азота (II). Как можно идентифицировать каждый газ?

767. В двух одинаковых закрытых сосудах, содержащих азот при одинаковом давлении, нагрели до одинаковой температуры равные массы двух солей: в одном — хлорида аммония, в другом — иодида аммония. Разложение солей, не сопровождающееся изменением степеней окисления элементов, в обоих сосудах прошло полностью. В каком сосуде давление будет больше? Обоснуйте ответ, не производя расчетов.

768. Как можно разделить следующие смеси газов: а) оксид азота (II) и аммиак; б) оксид азота (II) и оксид азота (IV); в) аммиак и кислород; г) оксид азота (IV) и кислород; д) аммиак и оксид азота (IV); е) оксид азота (I) и оксид азота (IV)?

769. Закончите уравнения обеих реакций. Какая из них является окислительно-восстановительной? Укажите для нее окислитель и восстановитель, составьте электронный баланс. Расставьте коэффициенты в обеих реакциях.

а) $NH_3 + Br_2 \rightarrow NH_4Br + ...$

б) $NH_3 + AlBr_3 + H_2O \rightarrow NH_4Br + ...$

770. Осуществите цепочку превращений: оксид азота (IV)→ азотная кислота→нитрат аммония→аммиак→нитрат аммония→ оксид азота (I).

771. Напишите уравнения реакций, иллюстрирующих схему: нитрид→аммиак→оксид азота→оксид азота→нитрит

772. Напишите уравнения реакций, иллюстрирующих схему:

$$\overset{-3}{N} \rightarrow \overset{0}{N} \rightarrow \overset{+2}{N} \rightarrow \overset{+4}{N} \rightarrow \overset{+3}{N}$$

773. Напишите уравнения реакций, иллюстрирующих схему:

$$\overset{0}{N} \rightarrow \overset{-3}{N} \rightarrow \overset{-3}{N} \rightarrow \overset{+2}{N} \rightarrow \overset{+4}{N}$$

774. Напишите уравнения реакций, иллюстрирующих схему:

$$\overset{+5}{N} \rightarrow \overset{+4}{N} \rightarrow \overset{+5}{N} \rightarrow \overset{+3}{N} \rightarrow \overset{+2}{N}$$

775. Составьте уравнения реакций по схеме:

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$$

Все вещества — нитраты (не повторяются), все реакции обменные.

776. Составьте уравнения реакций по схеме:

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$$

A и D — нитриты; B и C — нитраты.

777. Составьте уравнения реакций по схеме:

$$\text{Нитрат} \rightarrow \text{Оксид X} \rightarrow \text{Нитрит} \rightarrow \text{Оксид Y}$$

778. Напишите уравнения реакций:

а) $Cu + HNO_3$ (разб) $\rightarrow X + ...$

б) $X + O_2 \rightarrow ...$

779. Напишите уравнения реакций:

а) $KNO_2 + KMnO_4$ (кислая среда) $\rightarrow X + ...$

б) $X \xrightarrow{t} ...$

780. Напишите уравнения реакций:

а) $KNO_2 + KI$ (кислая среда) $\rightarrow X + ...$

б) $X + O_2 \rightarrow ...$

781. Напишите уравнения реакций:

а) $NaNO_2 + NH_4Cl \rightarrow X + ...$

б) $X + H_2 \rightarrow ...$

782. Напишите уравнения реакций:

а) $NH_3 + Fe_3O_4 \xrightarrow{t} X + ...$

б) $X + N_2O_5 \rightarrow ...$

783. Как экспериментально подтвердить, что исследуемое вещество является: а) иодидом аммония; б) сульфитом аммония; в) нитратом аммония?

784. Имеется разбавленный водный раствор смеси хлороводородной, серной и азотной кислот. Как экспериментально подтвердить наличие в этом растворе всех ионов?

785. В водном растворе имеются ионы NH_4^+, Ba^{2+}, Cl^-, S^{2-}. Как экспериментально доказать наличие в этом растворе всех ионов?

786. В водном растворе имеются ионы NH_4^+, Br^-, SO_4^{2-}. Как экспериментально доказать наличие в этом растворе всех ионов?

787. В водном растворе имеются ионы Ba^{2+}, Cl^-, NO_2^-. Как экспериментально доказать наличие в этом растворе всех ионов?

788. К испытуемому раствору, содержащему несколько катионов и анионов, добавили раствор гидроксида натрия; при нагревании выделился газ, окрашивающий влажную красную лакмусовую бумажку в синий цвет. Осадок в растворе не образовался. К другой порции испытуемого раствора добавили хлорид бария, при этом осадок не образовался. Какие из перечисленных ионов не могли содержаться в испытуемом растворе: Fe^{2+}, SO_3^{2-}, Na^+, S^{2-}, Ba^{2+}, CO_3^{2-}, Cu^{2+}, K^+, Br^-, NH_4^+, NO_3^-, Pb^{2+}, NO_2^-? Поясните и при необходимости напишите уравнения реакций.

789. Из азота получите соль (в две стадии) и кислоту (в три стадии). Оба получаемых соединения должны содержать атом азота.

790. Используя нитрат магния, воду и оксид меди, получите в чистом виде нитрат меди.

791. Используя нитрат хрома (III), воду и оксид железа (III), получите в чистом виде нитрат железа (III).

792. Как, используя в качестве исходного сырья только воду и воздух, можно получить одну из солей? Выбор процессов и катализаторов не ограничен.

793. Выберите по одному азот- и серосодержащему соединению, из которых можно получить, используя любые вещества, кроме N- и S-содержащих, шесть соединений, в состав которых входят азот и сера одновременно.

794. Имеются нитрат аммония и щелочь. Какое простое вещество необходимо взять, чтобы с помощью только этих трех веществ получить сульфат аммония (выбор катализаторов не ограничен)? Приведите уравнения реакций.

795. Имеются вода и аммиак. Выберите только две соли и получите с использованием четырех веществ следующие соединения: гидроксид железа (II), оксид азота (IV), гидроксид хрома (III), сульфат аммония, нитрат аммония.

796. Имеются вода и нитрат аммония. Выберите только один металл и только одно основание и получите с использованием четырех веществ, а также продуктов их взаимодействия (без электролиза) следующие вещества: нитрид алюминия, нитрат кальция, аммиак, водород, оксид азота (I). Выбор катализаторов не ограничен.

797. Имеются вода и сульфат аммония. Выберите только одно простое вещество и одно основание и получите с использованием четырех веществ, а также продуктов их взаимодействия (без электролиза) следующие вещества: сульфат калия, азотную кислоту, нитрат калия, аммиак, оксид азота (II). Выбор катализаторов не ограничен.

798. Имеются вода и хлорид аммония. Выберите только одну соль и одно основание и получите с использованием четырех веществ, а также продуктов их взаимодействия (без электролиза) следующие вещества: хлорид натрия, гидроксид железа (III), нитрат аммония, нитрат натрия, аммиак.

799. Имеются вода и карбонат аммония. Выберите только одну соль и одно основание и получите с использованием четырех веществ, а также продуктов их взаимодействия (без электролиза) следующие вещества: углекислый газ, карбонат магния, карбонат кальция, нитрат аммония, аммиак.

800. Имеются вода и нитрид магния. Выберите только одну кислоту и одну соль и получите с использованием четырех веществ, а также продуктов их взаимодействия, не прибегая к электролизу, следующие вещества: бромид магния, бромид аммония, нитрат аммония, бромид железа (II), оксид железа (II).

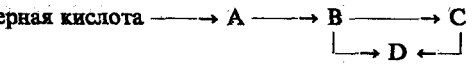
801. Имеются вода и нитрид кальция. Выберите только одну кислоту и одну соль и получите с использованием четырех веществ, а также продуктов их взаимодействия, не прибегая к электролизу, следующие вещества: хлорид кальция, хлорид аммония, хлорид хрома (III), гидроксид хрома (III), сульфат аммония.

802. Имеются вода и нитрат натрия. Выберите только одну кислоту и только одно летучее водородное соединение и получите с использованием четырех веществ, а также продуктов их взаимодействия (без электролиза) следующие вещества: сульфат натрия, нитрат аммония, сульфат аммония, гидросульфат аммония, оксид азота (I). Выбор катализаторов не ограничен.

803. Имеются два бесцветных раствора неорганических азотсодержащих солей. Один из растворов имеет кислую реакцию среды, а другой — нейтральную. Какие это могут быть соли (приведите два варианта ответа)?

804. Напишите уравнения реакций, протекающих при добавлении к нитриту калия: а) раствора серной кислоты; б) раствора серной кислоты, содержащего хлорат калия. Укажите общее в этих реакциях и черты различия.

805. Составьте уравнения реакций по схеме:



Буквами обозначены азотсодержащие соли.

806. Составьте уравнения в соответствии со схемой:

$$A \longrightarrow B \longrightarrow C \longrightarrow \text{Аммиак} \longrightarrow D \longrightarrow E \longrightarrow F$$

Вещества не повторяются и все содержат азот. В схеме только три окислительно-восстановительные реакции — подряд.

Простое вещество

807. Какую массу нитрида кальция можно получить, пропуская чистый азот объемом 1,00 л (н. у.) через нагретую трубку, содержащую кальций массой 3,57 г?

808. Некоторый объем смеси азота и гелия с равными объемными долями пропустили при комнатной температуре через трубку, наполненную литием. На выходе из трубки газ собрали, его плотность по водороду оказалась равной 4,00. Вычислите, какая часть азота вступила в реакцию.

809. В реактор для синтеза аммиака была помещена азотоводородная смесь с объемным соотношением компонентов 1:4. В ходе синтеза давление в реакторе уменьшилось на 15,0%. Вычислите объемные доли газов в полученной смеси.

Аммиак и соли аммония

810. При каталитическом окислении аммиака кислородом масса продуктов реакции оказалась на 18,4 г больше массы исходной порции аммиака. После приведения к нормальным условиям объем смеси азота и оксида азота (II) составил 10,08 л. Вычислите выход реакции каталитического окисления аммиака.

811. При окислении аммиака в присутствии катализатора кислород израсходовался полностью. В полученной смеси при 850 °С объемные доли оксида азота (II) и воды равны 18,18 и 45,45%, соответственно. Вычислите массовую долю молекулярного азота в этой смеси.

812. Объемная доля неона в смеси с аммиаком равна 10,0%. Чему будет равна объемная доля неона после разложения всего аммиака (объем постоянный)?

813. Смешали равные объемы разбавленных растворов аммиака и серной кислоты, имеющих: а) одинаковые молярные концентрации; б) одинаковые массовые доли. Установите качественный состав сухого остатка, образующегося при выпаривании полученных растворов (плотности растворов условно принять равными 1 г/мл).

814. При взаимодействии аммиака со смесью магния и алюминия при нагревании была получена смесь двух нитридов с рав-

ными массовыми долями веществ. Вычислите молярные доли металлов в исходной смеси.

815. К 31,7 г 10,0%-го раствора хлорида хрома (III) добавили 5,00 мл раствора аммиака с концентрацией 16,0 моль/л. Раствор выпарили. Рассчитайте массу остатка, который был получен после прокаливания.

816. Через 62,5 мл раствора нитрата железа (II) с концентрацией 0,640 моль/л пропустили 2,00 л аммиака (н. у.). Раствор выпарили. Рассчитайте массу газовой смеси, которая выделится при прокаливании сухого остатка (после конденсации паров воды).

817. Объем поглощенного водой при н. у. аммиака численно равен объему полученного раствора. Такой раствор объемом 5,00 мл обработали избытком одного из галогеноводородов. После осторожного испарения воды было получено 21,9 мг сухого остатка. Каким галогеноводородом был обработан раствор аммиака?

818. Во сколько раз объем поглощенного водой при н. у. аммиака был больше объема получившегося раствора, если после обработки 20,0 мл такого раствора избытком хлороводорода была получена соль массой 0,478 г?

819. После пропускания 10,0 л (н. у.) смеси азота и водорода через аппарат для синтеза аммиака ее объем уменьшился в 1,172 раза. Вычислите массу гидросульфата аммония, которую можно синтезировать из полученного аммиака.

820. Аммиак смешали с кислородом, которого взяли на 40% больше по сравнению с стехиометрическим для каталитического окисления. После охлаждения вышедшей из каталитической трубки смеси и пропускания ее через избыток раствора щелочи получили смесь газов, объем которой составил 10,9% от исходной смеси газов, и имеющую среднюю молярную массу 30,67 г/моль. Вычислите, какая часть аммиака окислилась до азота.

821. К смеси аргона и аммиака общим объемом 10,0 л (н. у.) и имеющей среднюю молярную массу 32,0 г/моль добавили 40,5 г бромоводорода. Вычислите плотность полученной газовой смеси при н. у.

822. К 15,68 л смеси угарного газа и аммиака общей массой 14,0 г добавили 5,60 л хлороводорода. Насколько изменится средняя относительная молекулярная масса газовой смеси по сравнению с исходной (объемы газов измерялись при н. у.)?

823. К 10,0 л смеси, состоящей из аммиака и неона, добавили 3,00 л хлороводорода (объемы газов измерялись при одинаковых условиях), в результате чего средняя молярная масса полученной

газовой смеси стала равна 22,4 г/моль. Вычислите объемные доли газов в исходной смеси.

824. К 10,0 л смеси, состоящей из аммиака и неона, добавили 1,00 л хлороводорода, в результате чего плотность полученной газовой смеси стала равна 0,826 г/л. Объемы газов измерялись при н. у. Вычислите массовые доли газов в исходной смеси.

825. К смеси иодоводорода и криптона, в которой находится $3{,}01 \cdot 10^{23}$ молекул, добавили 0,150 моль аммиака, в результате чего относительная плотность по неону полученного газа стала равна 4,2. Вычислите плотность исходной смеси при давлении 120 кПа и температуре -5 °С.

Нитриды

826. Аммиак, образовавшийся при гидролизе образца нитрида магния, содержащего в качестве примеси 5,00% оксида магния, пропустили через 80 г теплой бромной воды. В результате реакции массовая доля брома в растворе уменьшилась с 2,8 до 1,2%. Вычислите массу исходного образца нитрида.

827. Аммиак, образовавшийся при гидролизе смеси нитрида кальция и нитрида лития, в которой массовая доля азота равнялась 30,0%, пропустили через 80 мл бромоводородной кислоты. В результате реакции молярная концентрация кислоты уменьшилась с 2,8 до 1,2 моль/л (изменением объема раствора за счет поглощения газа пренебречь). Вычислите массу исходного образца смеси нитридов.

828. При обработке избытком воды 7,30 г твердого нитрида щелочно-земельного металла был получен аммиак объемом 1,12 л (н. у.). Установите, какой металл входил в состав нитрида.

829. Через 50,0 мл раствора нитрата кальция с концентрацией 2,00 моль/л пропустили 10,0 л (н. у.) хлороводорода. К полученному раствору добавили 8,00 г нитрида кальция. Вычислите массы веществ, находящихся в растворе.

830. При обработке водой смеси гидрида и нитрида одного металла (степень окисления +2) с равными массовыми долями образовалась газовая смесь общим объемом 6,72 л (н. у.) и общей массой 1,595 г. Установите, какой металл входил в состав соединений.

831. При обработке водой смеси гидрида и нитрида щелочного металла с равными массовыми долями образовалась газовая смесь с плотностью по воздуху 0,190. Установите, какой металл входил в состав соединений.

832. При обработке водой смеси гидрида и нитрида щелочного металла с равными массовыми долями объем образующей-

ся газовой смеси в 1,289 раза больше объема газа, который образуется при обработке той же смеси той же массы избытком разбавленной соляной кислоты. Установите, какой металл входил в состав соединений.

Оксиды азота

833. Оксид азота (II) смешали с кислородом, газы прореагировали полностью. Чему были равны объемные доли газов в исходной смеси?

834. Объемная доля азота в смеси с оксидом азота (II) равна 10,0%. Чему будет равна объемная доля азота после разложения всего оксида азота до простых веществ (объем постоянный)?

835. Оксид азота (I), находящийся в смеси с аргоном, полностью разложили. Объем газа при постоянном давлении и постоянной температуре увеличился при этом на 30,0%. Вычислите объемные доли газов в конечной смеси.

836. Оксид азота (IV), находящийся в закрытом сосуде в смеси с азотом, полностью разложили при высокой температуре на простые вещества. Давление (при постоянной температуре) увеличилось при этом на 10,0%. Вычислите объемные доли газов в исходной смеси.

837. На восстановление некоторого объема смеси оксида азота (I) и оксида азота (II) требуется 8,96 л (н. у.) водорода. Вычислите массу образующейся при этом воды.

838. Оксид азота (I) и оксид азота (II) окисляют при 500 °С медь до оксида меди (I). Через трубку с нагретой медью пропустили 2,00 л (пересчет на н. у.) смеси этих двух оксидов азота. Как и на сколько изменится масса трубки с медью?

839. Какой объем оксида азота (IV) (н. у.) пропустили через 100 г горячей воды, если в результате был получен 10,0%-й раствор азотной кислоты?

840. Через 50,0 г 10,0%-го раствора гидроксида калия, содержащего нитрат калия, пропустили оксид азота (IV), в результате чего массовые доли солей стали различаться ровно в 2 раза (щелочь вступила в реакцию полностью). Вычислите массовые доли солей в полученном растворе.

841. При окислении графита одним из оксидов азота была получена смесь углекислого газа и азота с плотностью по водороду 16,67. Каким оксидом был окислен графит?

842. При окислении сероводорода одним из оксидов азота образовались смесь азота с парами воды общим объемом 154 л (350 °С, нормальное давление) и общей массой 64,0 г и сера. Установите, какой оксид вступил в реакцию.

843. При окислении сульфида углерода (IV) одним из оксидов азота образовалась смесь углекислого газа, оксида серы (IV) и азота. При пропускании этой смеси через избыток подкисленного раствора перманганата калия масса смеси уменьшилась на 2,56 г. Оставшуюся смесь пропустили через избыток известковой воды, объем непоглотившегося газа составил 672 мл (н. у.). Каким оксидом был окислен сероуглерод?

844. Некоторые объемы оксида азота (II) и кислорода смешали, полученную смесь газов пропустили через 50,0 г 10,0%-го раствора гидроксида натрия. Массовая доля щелочи снизилась на 2,50%, непоглощенным остался газ объемом 1,12 л (н. у.). В каком соотношении по объему смешали исходные газы?

845. Через раствор гидроксида натрия пропустили оксид азота (IV), в результате чего массовая доля щелочи в растворе оказалась больше массовой доли одной соли, но меньше массовой доли другой соли. Из полученного раствора действием избытка бромоводородной кислоты было получено 154,5 г бромида натрия. Вычислите область допустимых значений массы нитрата натрия, которую можно выделить из полученной смеси.

846. Через раствор, содержащий 96,6 г карбоната калия, пропустили оксид азота (IV), в результате чего в растворе получилось 4 соли, причем молярные концентрации трех солей оказались равными между собой. К этому раствору добавили водный раствор брома. После завершения реакции объем конечного раствора составил 1,2 л. Вычислите, какую массу брома добавили, если молярная концентрация гидрокарбоната калия составила в конечном растворе 0,5556 моль/л.

Нитриты

847. Для окисления 2,70 г нитрита щелочно-земельного металла требуется 30,0 мл подкисленного раствора с концентрацией перманганата калия, равной 0,4 моль/л. Установите, какой металл входил в состав нитрита.

848. Нитрит щелочно-земельного металла массой 0,458 г может окислить 4,00 мл подкисленного раствора, в котором концентрация иодид-ионов равна 1,00 моль/л. Установите, какой металл входил в состав нитрита.

849. Какой объем раствора нитрита натрия с молярной концентрацией 5,00 моль/л был добавлен к 50,0 мл 30,0%-го раствора бромида аммония (пл. 1,19 г/мл), если после нагревания раствора и удаления всего газа в растворе осталась только одна соль?

850. Какой объем 70,0%-го раствора нитрита калия (пл. 1,60 г/мл) необходим для окисления в кислой среде смеси иодидов

калия и кальция, в которой число атомов иода в 9 раз меньше числа Авогадро.

851. К 50,0 мл раствора нитрита калия (пл. 1,60 г/мл) добавили горячий 10,0%-й раствор серной кислоты. Кислота вступила в реакцию полностью, при этом выделилась смесь двух газообразных продуктов. По окончании реакции масса раствора оказалась равной 125,2 г. Вычислите количество вещества добавленной серной кислоты.

852. К 50,0 мл раствора нитрита калия (пл. 1,38 г/мл) добавили 20,0 мл раствора пероксида водорода с концентрацией 300 г/л и нагрели. Затем к полученному раствору добавили несколько крупинок оксида марганца (IV). Объем выделившегося газа оказался равным 395 мл (н. у.). Вычислите массовую долю и молярную концентрацию соли в исходном растворе.

853. Концентрация нитрит-ионов в растворе равна 0,100 моль/л. К некоторому объему этого раствора добавили 50,0 мл раствора брома с концентрацией 20,0 г/л и разбавленную серную кислоту. Затем к полученному раствору добавляли по каплям 10,0%-й раствор сульфита натрия до исчезновения желтой окраски, присущей брому. Всего добавили 5,15 мл раствора (пл. 1,09 г/мл). Вычислите объем исходного раствора, содержащего нитрит-ионы.

Азотная кислота

854. К 1,59%-му раствору карбоната натрия добавили по каплям 40,0 г 3,78%-го раствора азотной кислоты; в результате в образовавшемся растворе число атомов азота оказалось в 2 раза больше числа атомов углерода. Вычислите массовые доли веществ в получившемся растворе.

855. Через 15,0 г 9,45%-го раствора азотной кислоты пропустили аммиак; в результате в образовавшемся растворе массовая доля азота оказалась равной 3,50%. Вычислите массовые доли веществ в образовавшемся растворе.

856. В реакции кобальта с разбавленной азотной кислотой выделилось 336 мл (н. у.) газа, входящего в состав воздуха. Вычислите массу образовавшегося при этом нитрата кобальта (II).

857. Какую массу меди следует добавить к 100 г 6,3%-го раствора азотной кислоты, чтобы в полученном растворе молярная концентрация соли стала равной молярной концентрации кислоты?

858. При растворении сульфида меди (I) в азотной кислоте при нагревании выделилось 3,36 л (н. у.) бурого газа и образовал-

ся раствор объемом 300 мл. Вычислите молярную концентрацию ионов меди в полученном растворе.

859. При обработке пирита азотной кислотой образовался бесцветный газ, который собрали в сосуд с азотом. Этот сосуд взвесили и затем на очень короткое время открыли на воздухе. После этого сосуд вновь взвесили, его масса оказалась на 4,00 г больше. Вычислите массу вступившего в реакцию пирита.

860. В 100 г 80,5%-го раствора азотной кислоты поместили некоторую массу оксида железа (II). После того как реакция, сопровождающаяся выделением бурого газа, закончилась, масса раствора оказалась равной 102,6 г. Вычислите массовую долю азотной кислоты в оставшемся растворе.

861. В 250 г 82,0%-го раствора азотной кислоты поместили некоторую массу оксида меди (I). После того как реакция, сопровождающаяся выделением бурого газа, закончилась, масса раствора оказалась равной 253,6 г. Вычислите, во сколько раз молярная концентрация кислоты в получившемся растворе будет больше молярной концентрации соли.

862. Для перевода в раствор ионов марганца из некоторой порции сульфида марганца (II) требуется 50,0 мл 14,3%-го раствора азотной кислоты (пл. 1,08 г/мл). Вычислите объем газа, выделяющегося при этом, и объем газа, который должен выделиться при обработке той же порции соли избытком концентрированной азотной кислоты (н. у.).

863. Некоторую массу меди растворили при нагревании в разбавленной азотной кислоте. Выделившийся газ соединили со смесью газов, образовавшихся при прокаливании соли, полученной в результате растворения меди. Вычислите плотность (н. у.) образовавшейся смеси газов.

864. При нагревании 150 г 63%-го раствора азотной кислоты выделилась смесь газов общим объемом 6,47 л (120 °С, 101 кПа) и общей массой 7,1 г. Массовая доля воды в этой смеси равна 12,7%. К оставшейся жидкости добавили раствор гидроксида натрия, в результате чего массовая доля нитрата натрия и массовая доля гидроксида натрия в новом растворе стали равны. Вычислите, какую массу иодида натрия можно получить из последнего раствора действием на него избытка иодоводородной кислоты.

865. При нагревании 94,5 г 80%-го раствора азотной кислоты получили смесь газов, имеющую элементный состав: 0,6 г водорода, 12,8 г кислорода и 2,1 г азота. К оставшемуся раствору добавили гидроксид калия, после чего раствор осторожно выпарили. Масса калия в полученной смеси трех веществ составила 42,9 г. Вычислите максимальную массу 24,3%-го раствора бро-

моводородной кислоты, которая может вступить в реакцию с этой смесью.

866. При нагревании 67,2 г 75%-го раствора азотной кислоты получили 59,2 г водного раствора и смесь газов, имеющую элементный состав в массовых долях: 17,5% азота, 80% кислорода, остальное — водород. К оставшемуся раствору добавили гидроксид щелочного металла, после чего раствор осторожно выпарили, получив смесь трех веществ, в которой масса кислорода оказалась в 344 раза больше массы водорода. Новую смесь обработали избытком бромоводородной кислоты. Конечная смесь веществ, полученная после выпаривания, имела массу на 10,6% больше массы предыдущей смеси. Вычислите массовые доли веществ в конечной смеси.

867. К 126 г концентрированного раствора азотной кислоты добавили порцию сульфита аммония, в результате реакции выделилось 2,24 л (н.у.) смеси оксида азота (II) и оксида азота (IV) с общей массой 3,32 г, а массовая доля азотной кислоты снизилась до 50,3%. К полученному раствору добавили воду, при этом массовая доля азотной кислоты снизилась до 10%. После добавления к вновь образовавшемуся раствору 43,9 г нитрида бария массовая доля азотной кислоты снизилась до 2,67%. Вычислите массовые доли солей в полученном растворе.

Нитраты

868. Чему равна объемная доля кислорода в газовой смеси, полученной прокаливанием: а) нитрата магния; б) нитрата серебра; в) нитрата железа (II); г) нитрата лития?

869. Смесь двух нитратов щелочных металлов общей массой 10,0 г прокалили, в результате чего получили 8,24 г смеси нитритов. Вычислите объем выделившегося кислорода (20 °С, нормальное давление).

870. При обработке 5,00 г твердого нитрата щелочного металла избытком концентрированной серной кислоты было получено 4,00 г азотной кислоты в газообразном виде (часть азотной кислоты разложилась с образованием NO_2). Установите, какой нитрат взяли для получения азотной кислоты.

871. Нитрат марганца (II) разлагается на два сложных вещества, атомы в которых имеют одинаковые положительные степени окисления. Вычислите, во сколько раз масса остатка, полученного после прокаливания нитрата марганца, будет меньше исходной массы соли.

872. При прокаливании 105 г кристаллогидрата нитрата железа (III) до постоянной массы получили остаток массой 24,0 г. Установите формулу кристаллогидрата.

873. При прокаливании 86,4 г кристаллогидрата нитрата железа (II) до постоянной массы получили остаток массой 24,0 г. Установите формулу кристаллогидрата.

874. Смесь карбоната аммония и нитрата натрия прокалили; масса сухого остатка оказалась равной 4,83 г. Такую же смесь, но вдвое меньшей массы, обработали избытком соляной кислоты, при этом получилось 448 мл (н. у.) газа. Вычислите массовую долю азота в исходной смеси.

875. При прокаливании смеси нитрата калия с нитратом металла (степень окисления +3, в ряду напряжений находится между Mg и Cu) образовалось 15,65 г твердого остатка и выделилась смесь газов. После пропускания газов через раствор гидроксида натрия образовалось по 0,225 моль нитрита и нитрата; объем непоглощенного газа составил 3,08 л. Установите, какой нитрат входил в состав смеси.

876. При прокаливании смеси нитрата калия с нитратом металла (степень окисления +3, в ряду напряжений находится между Mg и Cu) образовалось 16,4 г твердого остатка и выделилось 10,98 л газов (н. у.). После пропускания газов через раствор гидроксида калия образовалось две соли, а объем газов сократился до 2,912 л. Установите строение нитрата, входившего в состав смеси.

877. При прокаливании смеси нитрата калия с нитратом металла (степень окисления +2, в ряду напряжений находится между Mg и Cu) образовалось 6,72 г твердого остатка и выделилась смесь газов общим объемом 1,792 л (н. у.) и общей массой 3,12 г. Установите строение нитрата, входившего в состав смеси.

878. При прокаливании смеси нитрата натрия с нитратом металла, имеющего в соединениях постоянную степень окисления +2, образовалась смесь соли и оксида массой 6,54 г и выделилась смесь газов общим объемом 4,032 л, с плотностью 1,845 г/л (н. у.). Установите, какой металл входил в состав нитрата.

879. При прокаливании нитрата кальция была получена смесь оксида кальция и нитрита кальция, в которой массовая доля кальция равна 0,5333. Вычислите, во сколько раз полученная смесь имеет массу меньше, чем исходная соль.

880. Нитрат щелочно-земельного металла прокалили. В твердом остатке, представляющем собой смесь оксида и нитрита, массовая доля соли составляет 46,39%. В смеси газов, выделившихся при прокаливании, объемная доля оксида в 2 раза больше объемной доли кислорода. Установите, нитрат какого металла прокалили.

2.5. ФОСФОР И ЕГО СОЕДИНЕНИЯ

Фосфор — элемент VA-группы третьего периода периодической системы элементов. Его электронная конфигурация аналогична азоту: $3s^2 3p^3$. Наличие вакантного $3d$-подуровня и возможность перехода на него электронов в результате распаривания обусловливают максимальную валентность, равную 5. В соединениях с водородом, кремнием и металлами степень окисления фосфора равна -3 (например, фосфин PH_3, фосфид бария Ba_3P_2). В других соединениях степень окисления фосфора положительна, например, $+1$ в фосфорноватистой кислоте H_3PO_2 и ее солях; $+3$ в оксиде P_2O_3, фосфористой кислоте H_3PO_3 и ее солях, в галогенидах типа PCl_3; $+5$ в оксиде P_2O_5, в фосфорной кислоте и фосфатах, в галогенидах типа PCl_5 и оксигалогенидах типа PCl_3O.

Фосфор образует несколько простых веществ: красный фосфор, белый фосфор, черный фосфор. И красный, и белый фосфор существуют в виде аллотропных модификаций. Наибольшей химической активностью обладает белый фосфор.

Фосфор окисляется всеми галогенами, кислородом, серой, а также некоторыми сложными веществами. Красный фосфор, например, окисляется водой при высокой температуре (около 800 °С) в присутствии катализатора (медный порошок):

$$2P + 8H_2O \rightarrow 2H_3PO_4 + 5H_2\uparrow$$

Белый фосфор окисляется пероксидом водорода в разбавленном щелочном растворе:

$$2P + 5H_2O_2 + 2NaOH \rightarrow 2NaH_2PO_4 + 4H_2O$$

Белый фосфор окисляется также при нагревании некоторыми оксидами, например:

$$2P + 3N_2O \rightarrow P_2O_3 + 3N_2$$

$$2P + 3CO_2 \rightarrow P_2O_3 + 3CO$$

Фосфор окисляет при нагревании почти все металлы, образуя фосфиды, например:

$$3Ca + 2P \rightarrow Ca_3P_2$$

Фосфин — бесцветный газ с чесночным запахом. Он является аналогом аммиака, однако его основные свойства проявляются в очень незначительной степени. Образует соли только с очень сильными кислотами, например, иодид фосфония PH_4I и перхлорат фосфония PH_4ClO_4. Соли фосфония полностью гидроли-

зуются. Фосфин — более сильный восстановитель, чем аммиак. Фосфин горит и окисляется многими окислителями, например:

$$PH_3 + 2O_2 \rightarrow H_3PO_4$$

$$PH_3 + 8HNO_3\ (конц) \rightarrow H_3PO_4 + 8NO_2\uparrow + 4H_2O$$

Фосфиды металлов легко гидролизуются водой и кислотами, например:

$$Ca_3P_2 + 6H_2O \rightarrow 2PH_3\uparrow + 3Ca(OH)_2$$

$$Na_3P + 3HCl \rightarrow PH_3\uparrow + 3NaCl$$

В положительных степенях окисления фосфор образует оксиды, галогениды и кислоты.

Фосфористая кислота H_3PO_3 — слабая двухосновная кислота. Она образуется при взаимодействии оксида фосфора (III) с водой:

$$P_2O_3 + 3H_2O \rightarrow 2H_3PO_3$$

H_3PO_3, как и P_2O_3, обладает восстановительными свойствами:

$$P_2O_3 + O_2 \rightarrow P_2O_5$$

$$H_3PO_3 + NO_2 \xrightarrow{t} H_3PO_4 + NO\uparrow$$

Оксид фосфора (III) может диспропорционировать:

$$P_2O_3 + H_2O \xrightarrow{t} PH_3 + H_3PO_4$$

Оксид фосфора (V) обладает исключительными водоотнимающими свойствами, например:

$$P_2O_5 + 2HNO_3 \rightarrow 2HPO_3 + N_2O_5$$

Оксид фосфора (V) реагирует с водой с образованием в конечном счете ортофосфорной кислоты H_3PO_4 (часто ее называют просто фосфорной кислотой). При растворении в горячей воде образуется практически сразу H_3PO_4:

$$P_2O_5 + 3H_2O \rightarrow 2H_3PO_4$$

При растворении оксида фосфора (V) в холодной воде сначала образуется метафосфорная кислота

$$P_2O_5 + H_2O \rightarrow 2HPO_3$$

которая затем через стадию образования дифосфорной кислоты $H_4P_2O_7$ превращается в ортофосфорную кислоту H_3PO_4.

Ортофосфорная кислота — твердое вещество белого цвета, температура плавления +42 °С, с водой смешивается во всех соотношениях. В растворах высокой концентрации наряду с ортофосфорной кислотой присутствуют также дифосфорная кислота и полимерные формы метафосфорной кислоты. При нагревании безводной ортофосфорной кислоты она превращается в дифосфорную (пирофосфорную) кислоту:

$$2H_3PO_4 \rightarrow H_2O + H_4P_2O_7$$

Ортофосфорная кислота — трехосновная кислота (по первой ступени средней силы, по второй ступени — слабая, по третьей — очень слабая). Она вступает во многие реакции, характерные для кислот:

$$2H_3PO_4 + 3Mg \rightarrow Mg_3(PO_4)_2 + 3H_2\uparrow$$

$$2H_3PO_4 + Ba \rightarrow Ba(H_2PO_4)_2 + H_2O$$

$$H_3PO_4 + 2NH_3 \rightarrow (NH_4)_2HPO_4$$

$$H_3PO_4 + 3KOH \rightarrow K_3PO_4 + 3H_2O$$

Средние фосфаты в водном растворе подвергаются сильному гидролизу. Среда настолько щелочная, что это обеспечивает при нагревании (до кипения) частичное растворение амфотерных металлов, например:

$$2Na_3PO_4 + Zn + 4H_2O \rightarrow Na_2[Zn(OH)_4] + 2Na_2HPO_4 + H_2\uparrow$$

Растворимые гидрофосфаты также подвергаются гидролизу, реакция их раствора щелочная. Реакция водных растворов дигидрофосфатов слабокислая.

Фосфорная кислота вытесняется более сильными кислотами из ее солей, например:

$$Ca_3(PO_4)_2 + 3H_2SO_4\ (конц) \rightarrow 3CaSO_4 + 2H_3PO_4$$

Фосфорная кислота проявляет окислительные свойства в растворе только благодаря наличию протонов; у атома фосфора (+5) в мягких условиях окислительная функция отсутствует. Соли фосфорной кислоты в водных растворах окислителями не являются. Их окислительная способность проявляется только при значительном нагревании (1000 °С) в присутствии сильных восстановителей:

$$Ca_3(PO_4)_2 + 5C + 3SiO_2 \rightarrow 3CaSiO_3 + 2P + 5CO$$

(реакция протекает в отсутствие воздуха).

Пример 37. Вычислите массу осадка, образующегося при обработке разбавленным раствором хлорида кальция смеси дигидрофосфата натрия, гидрофосфата калия и гидрофосфата аммония, в которой отношение масс веществ равно 1:2:3 (в порядке перечисления), а суммарное количество всех веществ составляет 0,100 моль.

Решение. Примем, что $m(NaH_2PO_4)=x$ (г), тогда $m(K_2HPO_4)=2x$, $m((NH_4)_2HPO_4)=3x$. Воспользовавшись формулой $\nu(X)=m(X):M(X)$, выразим количества веществ каждого компонента смеси: $\nu(NaH_2PO_4)=x:120$; $\nu(K_2HPO_4)=2x:174$; $\nu((NH_4)_2HPO_4)=3x:132$. По условию задачи сумма всех количеств веществ составляет 0,1 моль:

$$x:120+2x:174+3x:132=0{,}1, \text{ откуда } x=2{,}35.$$

Разбавленный раствор хлорида кальция осаждает только гидрофосфаты:

$$K_2HPO_4+CaCl_2\rightarrow CaHPO_4\downarrow+2KCl \quad (I)$$

$$(NH_4)_2HPO_4+CaCl_2\rightarrow CaHPO_4\downarrow+NH_4Cl \quad (II)$$

Массы гидрофосфатов равны:

$$m(K_2HPO_4)=2\cdot 2{,}35=4{,}7 \text{ г};$$

$$m((NH_4)_2HPO_4)=3\cdot 2{,}35=7{,}05 \text{ г}.$$

Найдем количества веществ этих солей:

$$\nu(K_2HPO_4)=4{,}7:174=0{,}0270 \text{ моль};$$

$$\nu((NH_4)_2HPO_4)=7{,}05:132=0{,}0534 \text{ моль}.$$

Из уравнений реакций (I) и (II) находим:

$$\nu(CaHPO_4)_{сумм}=0{,}0270+0{,}0534=0{,}0804 \text{ моль}.$$

Тогда

$$m(CaHPO_4)_{сумм}=136\cdot 0{,}0804=10{,}9 \text{ г}.$$

Пример 38. *К 175 мл раствора гидрофосфата калия* ($c=0{,}125$ моль/л) добавили 0,595 г олеума, при этом массовые доли кислых солей фосфорной кислоты в полученном растворе сравнялись. Вычислите массовую долю оксида серы (VI) в добавленном олеуме.

Решение. *Вычислим количество вещества гидрофосфата калия в исходном растворе:*

$$\nu(K_2HPO_4)_{исх}=c(K_2HPO_4)\,V(K_2HPO_4,р\text{-}р);$$

$$\nu(K_2HPO_4)_{исх}=0{,}125\cdot 0{,}175=0{,}02188 \text{ моль}.$$

Как следует из условия задачи, протекает следующая реакция:

$$2K_2HPO_4+H_2SO_4\rightarrow 2KH_2PO_4+K_2SO_4$$

Пусть $\nu(H_2SO_4)_{вст}=x$ (моль). Тогда в соответствии со стехиометрическими соотношениями:

$$\nu(K_2HPO_4)_{вст}=2\nu(H_2SO_4)_{вст}=2x;\ \nu(KH_2PO_4)_{обр}=2\nu(H_2SO_4)_{вст}=2x;$$

$$\nu(K_2HPO_4)_{ост}=\nu(K_2HPO_4)_{исх}-\nu(K_2HPO_4)_{вст}=0{,}02188-2x.$$

Выразим массы кислых солей фосфорной кислоты, находящихся в растворе, через x по формуле

$$m = Mv;\ m(K_2HPO_4) = 174\,(0{,}02188 - 2x);\ m(KH_2PO_4) = 136 \cdot 2x.$$

Равенство массовых долей веществ в одном растворе означает и равенство масс этих веществ, поэтому справедливо:

$$m(K_2HPO_4) = m(KH_2PO_4);\ 174\,(0{,}02188 - 2x) = 136 \cdot 2x.$$

Решая это уравнение, получаем $x = 0{,}006140$.

Пусть $\omega(SO_3$ в олеуме$) = y$. Тогда $m(SO_3) = 0{,}595y$; а $m(H_2SO_4$ в олеуме$) = 0{,}595\,(1 - y)$.

Выразим количества веществ обоих компонентов олеума через y по формуле

$$\nu = m : M;\ \nu(SO_3) = 0{,}595y : 80;\ \nu(H_2SO_4) = 0{,}595\,(1 - y) : 98.$$

В результате протекающей реакции

$$H_2O + SO_3 \rightarrow H_2SO_4$$

весь оксид серы (VI), содержащийся в олеуме, превратится в серную кислоту, причем общее количество H_2SO_4 будет равно сумме количества вещества SO_3 и H_2SO_4, первоначально содержавшейся в олеуме в качестве растворителя.

Таким образом, составляем уравнение

$$0{,}595y : 80 + 0{,}595\,(1 - y) : 98 = 0{,}006140,\ \text{откуда}\ y = 0{,}0505,$$

т. е. массовая доля оксида серы (VI) в олеуме равнялась 5,05%.

ВОПРОСЫ, УПРАЖНЕНИЯ И ЗАДАЧИ

881. Объясните, почему высший оксид азота обладает кислотными свойствами в большей степени, чем высший оксид фосфора.

882. Объясните, почему водородные соединения фосфора и хлора проявляют разные кислотно-основные свойства.

883. Объясните, почему фосфор в метафосфорной кислоте HPO_3 и азот в азотной кислоте HNO_3 имеют одинаковую степень окисления, но разную валентность?

884. Приведите два уравнения реакций, в одной из которых фосфор является окислителем, а в другой — восстановителем.

885. Приведите пример реакции между двумя сложными веществами, в ходе которой степень окисления фосфора увеличивается, а азота — уменьшается.

886. Составьте уравнения: фосфор→фосфид кальция→фосфин→фосфорная кислота→гидрофосфат бария→фосфор.

887. Составьте уравнения: оксид фосфора (III)→оксид фосфора (V)→метафосфорная кислота→фосфорная кислота→дигидрофосфат магния.

888. В каких случаях вещества могут одновременно существовать в растворе, а в каких будут вступать в реакцию между

собой: а) фосфат натрия и дигидрофосфат натрия; б) гидроксид калия и фосфат натрия; в) гидрофосфат аммония и дигидрофосфат аммония; г) гидрофосфат натрия и фосфорная кислота; д) гидроксид натрия и гидрофосфат аммония. Напишите уравнения протекающих реакций.

889. В каких случаях вещества могут одновременно существовать в растворе, а в каких будут вступать в реакцию между собой: а) гидрофосфат калия и гидросульфат натрия; б) дигидрофосфат натрия и сероводород; в) азотная кислота и гидрофосфат аммония; г) аммиак и фосфат калия; д) гидросульфит калия и фосфат натрия. Напишите уравнения протекающих реакций в сокращенном ионном виде.

890. Составьте уравнения реакций, протекающих без изменения степеней окисления элементов, по схеме:

$$(NH_4)_2HPO_4 \rightarrow X \rightarrow Ba(H_2PO_4)_2.$$

Используемые реактивы не содержат атомов фосфора.

891. Составьте уравнения реакций, протекающих без изменения степеней окисления элементов, по схеме:

$$H_3PO_4 \rightarrow X \rightarrow H_2SO_4.$$

Используемые реактивы не содержат атомов водорода.

892. Приведите уравнения реакций в соответствии со схемой:

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E$$

Первая и вторая реакции — реакции соединения; третья и четвертая — реакции обмена; все вещества содержат фосфор.

893. Приведите уравнения реакций в соответствии со схемой:

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E$$

Все вещества в схеме — растворимые в воде кислые и средние соли фосфорной кислоты.

894. Какие четыре из перечисленных ниже солей могут одновременно находиться в водном растворе: хлорид кальция, сульфат магния, дигидрофосфат натрия, фосфат калия, гидрофосфат аммония, нитрат бария?

895. Напишите уравнения реакций, протекающих в водной среде:

а) $(NH_4)_2HPO_4 + Ca(OH)_2\,(\text{избыток}) \xrightarrow{t} X + \ldots$

б) $X + HNO_3\,(\text{разб}) \rightarrow \ldots$

896. Напишите уравнения реакций, протекающих в водной среде:

а) $NH_4H_2PO_4 + Ca(OH)_2$ (изб) $\xrightarrow{t} X + ...$

б) $X + HBr$ (разб) $\rightarrow ...$

897. Напишите уравнения реакций взаимодействия фосфида кальция: а) с разбавленной азотной кислотой; б) с бромной водой. Укажите общее в этих реакциях и черты различия.

898. Напишите ионные уравнения реакций взаимодействия в подкисленном растворе между перманганатом калия и: а) фосфидом натрия; б) фосфидом кальция.

899. Напишите уравнение реакции между хлоратом калия и фосфором, в ходе которой образуются оксид фосфора (V) и оксид фосфора (III) в молярном соотношении 15 : 1.

900. Исходя только из простых веществ и используя только окислительно-восстановительные реакции, получите: а) фосфат кальция; б) фосфорную кислоту.

901. Имеются фосфин и перманганат калия. Добавьте к этим веществам по своему выбору соединение натрия, не имеющее в составе фосфор, и получите дигидрофосфат натрия.

902. Имеются хлорат калия и фосфин. Добавьте к этим веществам по своему выбору соединение калия, не имеющее в составе фосфор, и получите гидрофосфат калия. Выбор катализаторов не ограничен.

903. Имеются вода и фосфид кальция. Выберите только одну соль и одну кислоту и получите с использованием четырех веществ, а также продуктов их взаимодействия следующие вещества: хлорид кальция, гидрофосфат кальция, дигидрофосфат кальция, нитрит натрия.

904. Имеются вода и фосфид магния. Выберите только одну соль и одну кислоту и получите с использованием четырех веществ, а также продуктов их взаимодействия следующие вещества: хлорид калия, гидрофосфат магния, дигидрофосфат магния, бромид магния.

905. Имеются кабонат кальция, сульфат натрия, гидрофосфат аммония, оксид фосфора (III), пероксид водорода, хром и вода. Выберите из них четыре вещества и, расходуя только их, получите, не прибегая к электролизу, 6 кислых солей.

906. Имеются карбонат бария, пероксид водорода, дигидрофосфат аммония, нитрат меди (II), фосфин, сульфат калия и вода. Выберите из них четыре вещества и, расходуя только их, получите, не прибегая к электролизу, 6 кислых солей.

907. Имеются кремний, фосфор, гидрид натрия, нитрат алюминия, карбонат магния, серная кислота и вода. Выберите из них четыре вещества и, расходуя только их, получите, не прибегая к электролизу, 7 кислых солей.

908. Составьте уравнения реакций по схеме A→B→C→D, в которой все вещества содержат фосфор. В первой реакции один из атомов отдает 2 электрона, во второй реакции один из атомов принимает 2 электрона, в третьей реакции один из атомов отдает 2 электрона.

909. Составьте уравнения в соответствии со схемой:

$$\text{Фосфат кальция} \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow \text{Фосфат кальция}$$

Все вещества содержат фосфор и не повторяются; в схеме только три окислительно-восстановительные реакции (подряд).

Простые вещества

910. Какой объем воздуха (25 °C, 95,0 кПа) требуется для полного сгорания смеси массой 10,0 г, в которой содержится равное число атомов фосфора и серы.

911. Фосфор массой 9,30 г при хлорировании образовал 50,0 г смеси хлоридов. Установите массовые доли веществ в полученной смеси.

912. Смешали 7,75 г красного фосфора и 37,5 г бертолетовой соли. Вычислите массу твердого остатка, который получится после прокаливания этой смеси.

913. В закрытом сосуде полностью сожгли некоторую массу фосфора. Первоначальный объем воздуха, пересчитанный на нормальные условия, составил 5,00 л. После реакции объемная доля кислорода снизилась в газовой смеси до 10,0%. Вычислите массу образовавшегося оксида.

914. В закрытом сосуде полностью сожгли смесь серы с фосфором с равными массовыми долями. Первоначальный объем кислорода, пересчитанный на нормальные условия, составил 5,00 л. После реакции объемная доля кислорода в газовой смеси стала равна 50,0%. Вычислите массу исходной смеси простых веществ.

915. При растворении фосфора в избытке горячей концентрированной азотной кислоты выделился бурый газ, который при пропускании через раствор гидроксида калия образовал 4,65 г смеси азотсодержащих солей. Вычислите массу фосфора, вступившую в реакцию.

916. При взаимодействии фосфора с избытком концентрированной серной кислоты выделился газ, который был поглощен 5,00%-м раствором гидроксида натрия массой 100 г, в результате чего массовые доли кислой и средней соли в полученном растворе оказались равными. Вычислите массу образовавшейся в ходе реакции фосфоновой кислоты H_3PO_3.

917. Смесь сульфида бария и фосфида бария обработали соляной кислотой. Образовавшуюся газовую смесь охладили при нормальном давлении до −20 °С. Вычислите плотность смеси при этих условиях.

918. В сосуд с фосфором под большим давлением поместили 6,00 моль водорода. После нагревания сосуда до 300 °С масса фосфора уменьшилась на 62,0 г. Какой объем воздуха потребуется для полного сжигания 1,00 л смеси газов, выведенной из сосуда по окончании реакции (объемы газов пересчитаны на нормальные условия).

919. Смешали равные массы бария и фосфора. Смесь сильно нагрели, а затем после охлаждения обработали избытком соляной кислоты. Во сколько раз масса нерастворившегося остатка будет меньше массы исходной смеси?

920. Масса смеси газов, образующихся при обработке смеси фосфида кальция и нитрида кальция водой, ровно в 2 раза больше массы газа, образующегося при обработке той же смеси соляной кислотой. Вычислите массовые доли веществ в исходной смеси.

921. В смеси сульфида и фосфида металла IIA-группы количество вещества атомов фосфора на 2,5 моль меньше количества вещества атомов металла и на 3,5 моль больше количества вещества атомов серы. Вычислите, какой объем газа (н. у.) выделится при обработке этой смеси избытком раствора гидроксида калия.

922. При гидролизе смеси фосфида магния и нитрида магния образуется смесь газов с плотностью по водороду 15,0. При прокаливании остатка, полученного после удаления избытка воды, образуется вещество массой 400 мг. Вычислите массу исходной смеси магнийсодержащих соединений.

923. При обработке смеси фосфида магния и фосфида бария разбавленной серной кислотой выделился газ объемом 1,792 л (н. у.) и образовался осадок массой 6,99 г. Вычислите количества веществ фосфидов в исходной смеси.

924. При обработке водой смеси гидрида и фосфида одного металла (степень окисления +2) с равными массовыми долями образовалась газовая смесь с плотностью по гелию 2,00. Установите, какой металл входил в состав соединений.

925. При обработке разбавленной соляной кислотой смеси гидрида и фосфида щелочного металла с равными массовыми долями образовалась газовая смесь с плотностью по азоту 0,2926. Установите, какой металл входил в состав соединений.

926. При обработке водой смеси нитрида и фосфида металла IIA-группы, в которой массовая доля нитрида равна 0,25, об-

разовалась газовая смесь с плотностью по аргону 0,7188. Установите, какой металл входил в состав соединений.

927. Какой объем фосфина (н. у.) следует пропустить через 100 г горячего 75,0%-го раствора азотной кислоты, чтобы массовая доля азотной кислоты, восстанавливающейся при этом до оксида азота (IV), снизилась на 3,00%?

Оксид фосфора (V), фосфорная кислота и фосфаты

928. При взаимодействии фосфата кальция с фосфидом кальция образовался фосфор массой 6,20 г. Вычислите массу второго продукта реакции.

929. В смеси фосфата кальция, графита и оксида кремния (IV) массой 300 г массовые доли всех веществ равны между собой. Вычислите массу твердого остатка, который получится в результате прокаливания смеси при 1000 °С в закрытом сосуде без доступа воздуха и последующего охлаждения до 0 °С.

930. К среднему фосфату, образованному металлом IIA-группы, массой 68,1 г добавили избыток графита и оксида кремния (IV); смесь прокалили при 1000 °С без доступа воздуха. После охлаждения полученной смеси до 10 °С выяснилось, что масса остатка уменьшилась на 21,0 г по сравнению с массой исходной смеси. Какой фосфат входил в состав этой смеси?

931. В 1,00 кг раствора находится смесь нитрата калия, хлорида аммония и фосфата натрия общей массой 70,0 г. При обработке 100 г такого раствора избытком раствора щелочи выделяется 448 мл (н. у.) газа. При обработке 10,0 г исходного раствора избытком нитрата серебра выпадает 1,544 г осадка. Вычислите массовые доли веществ в исходном растворе.

932. В 1,00 л раствора находится смесь нитрата аммония, фосфата калия и иодида натрия. При обработке 100 мл такого раствора избытком гидроксида кальция выделяется 448 мл (н. у.) газа и образуется 1,55 г осадка. При добавлении к 10,0 мл исходного раствора избытка нитрата серебра выпадает 1,124 г осадка. Вычислите молярные концентрации солей в исходном растворе.

933. Установите, какие соли будут находиться в растворе, если к 100 мл раствора фосфорной кислоты с концентрацией 1,00 моль/л осторожно добавить 2,00 г смеси натрия и калия.

934. Вычислите минимальный объем соляной кислоты с концентрацией 5,00 моль/л, который нужно добавить для растворения смеси ортофосфатов кальция и бария, если известно, что в этой смеси число атомов кальция в 30 раз меньше, а число атомов бария в 15 раз меньше числа Авогадро.

935. К 400 г 8,2%-го раствора фосфата натрия добавили 25 мл раствора азотной кислоты с молярной концентрацией 6 моль/л. Вычислите количества веществ, находящихся в растворе (кроме воды).

936. К 64,1 г насыщенного раствора фосфата калия (растворимость при 20 °С равна 98,5 г в 100 г воды) добавили соляную кислоту. В полученном растворе массой 200 г массовая доля хлорида калия составила 9,31%. Вычислите массовые доли других веществ в этом растворе (кроме воды).

937. Кристаллогидрат фосфата натрия (общее число атомов в формульной единице равно 44) массой 76 г добавили к раствору бромоводородной кислоты до полного растворения. В полученном растворе массой 515 г массовая доля бромида натрия составила 10%. Вычислите массовые доли других веществ в этом растворе (кроме воды).

938. Через 125 мл раствора фосфата калия с молярной концентрацией 0,8 моль/л пропустили хлороводород. В выделенной смеси солей масса гидрофосфата калия составила 5,22 г. Какие значения могут соответствовать количеству вещества хлорида калия в этой смеси?

939. Через 80 мл раствора фосфата натрия с молярной концентрацией 2,5 моль/л пропустили иодоводород. В выделенной смеси солей количество вещества гидрофосфата натрия составило 0,1 моль. Какие значения могут соответствовать массе иодида натрия в этой смеси?

940. Порции растворов хлорида кальция и фосфата калия содержат одинаковое число ионов (изменением концентрации фосфат-ионов вследствие гидролиза пренебречь). При сливании этих растворов образовался осадок массой 930 мг. Вычислите массовые доли солей в надосадочной жидкости массой 15 г.

941. Раствор массой 200 г, полученный растворением дигидрата гидрофосфата натрия и дигидрата дигидрофосфата натрия, разделили на две равные части. К одной из них добавили 12,5 г 14,6%-й соляной кислоты, в результате этого молярные концентрации кислых солей стали различаться в 5 раз. К другой части добавили 12,5 г 16%-го раствора гидроксида натрия, что привело к выравниванию молярных концентраций кислых солей. Какую массу воды взяли для приготовления первоначального раствора?

942. Оксид фосфора (V) и дигидрат гидрофосфата натрия растворили в порции воды, в полученном растворе массовые доли кислых солей сравнялись. К этому раствору добавили 20 г 20%-го раствора гидроксида натрия. В новом растворе массой 200 г массовая доля гидрофосфата натрия превысила массовую долю дигидрофосфата натрия в 2,6 раза. Какую массу воды взяли для приготовления первоначального раствора?

943. К 0,500 мл раствора фосфорной кислоты с концентрацией 6,00 моль/л добавили 10,0 г насыщенного раствора гидроксида бария (растворимость 3,89 г в 100 г воды). Вычислите количества веществ образовавшихся соединений бария.

944. Через 500 г 9,94%-го раствора гидрофосфата натрия пропустили 2,24 л (н. у.) галогеноводорода. После выпаривания воды было получено 57,8 г смеси солей (в пересчете на безводные соли). Вычислите массовые доли солей в полученном сухом остатке.

945. Вычислите минимальную массу 25,0%-й соляной кислоты, которую нужно добавить к смеси фосфата натрия, гидрофосфата натрия и дигидрофосфата натрия общей массой 10,0 г (молярное соотношение солей в порядке перечисления 1 : 2 : 3), чтобы в новом растворе содержалось только две соли.

946. Смесь трех солей натрия, в которой количество вещества гидрофосфат-ионов в 2 раза больше количества вещества фосфат-ионов, но в 3 раза меньше количества вещества дигидрофосфат-ионов, растворили в воде. При обработке раствора избытком разбавленного раствора хлорида бария образовалось 50,0 г осадка. Вычислите суммарную массу исходных солей.

947. Какой объем соляной кислоты с концентрацией хлороводорода, равной 10,0 моль/л, потребуется для перевода смеси гидрофосфата аммония и гидрофосфата натрия, в которой число атомов кислорода равно $1{,}20 \cdot 10^{24}$, в смесь соответствующих дигидрофосфатов?

948. Какой объем (н. у.) смеси аммиака и водорода, имеющей плотность по водороду, равную 2,00, надо пропустить через 100 г 9,80%-го раствора фосфорной кислоты, чтобы массовые доли обеих кислых солей стали равны между собой?

949. Какую массу 10,0%-го олеума нужно добавить к 500 г 10,0%-го раствора гидрофосфата калия, чтобы молярные концентрации кислых солей фосфорной кислоты в полученном растворе сравнялись?

950. К 350 мл раствора гидрофосфата натрия с концентрацией 0,250 моль/л добавили 5,00%-й олеум, при этом массовые доли кислых солей фосфорной кислоты в полученном растворе сравнялись. Вычислите массу добавленного олеума.

951. К смеси фосфата натрия, дигидрофосфата натрия и гидрофосфата натрия общей массой 15,0 г (молярное соотношение солей в порядке перечисления 3 : 2 : 1) добавили 100 г 4,00%-го раствора гидроксида натрия. Установите количественный состав раствора (в массовых долях).

952. К 2,00 г смеси гидрофосфата калия и дигидрофосфата калия, в которой массовая доля фосфора равна 20,0%, добавили

20,0 г 2,00%-го раствора фосфорной кислоты. Вычислите массовые доли всех веществ в получившемся растворе.

953. В 62,5 мл раствора дигидрофосфата аммония с концентрацией 0,160 моль/л добавили 4,725 г октагидрата гидроксида бария, после чего смесь нагрели. Установите состав надосадочной жидкости.

954. К 200 мл раствора, концентрации хлороводорода и фосфорной кислоты в котором равны соответственно 0,500 и 0,250 моль/л, добавили 69,3 г 10,1%-го раствора гидроксида натрия (пл. 1,11 г/мл). Вычислите молярные концентрации веществ в образовавшемся растворе.

955. К 250 г раствора, в котором массовые доли азотной кислоты и фосфорной кислоты равны соответственно 5,04 и 3,92%, добавили 29,17 мл раствора гидроксида калия с концентрацией 12,0 моль/л (пл. 1,465 г/мл). Вычислите массовые доли веществ в образовавшемся растворе.

956. Через раствор фосфата калия пропустили оксид азота (IV), в результате чего молярная концентрация дигидрофосфата калия превысила молярную концентрацию гидрофосфата калия в 3 раза. При нагревании полученного раствора с избытком нитрата аммония выделилось 7,84 л (н. у.) газа. По окончании реакции раствор осторожно выпарили. Массовая доля фосфора в сухом остатке составила 7,34%. Вычислите массовую долю азота в сухом остатке.

957. Через 16%-й раствор гидроксида натрия пропускали оксид азота (IV) до тех пор, пока вся щелочь не вступит в реакцию. К полученному раствору добавили при нагревании 13,2 г гидрофосфата аммония, в результате чего выделился один газ — азот объемом 2,24 л (н. у.). После прибавления к вновь образовавшемуся раствору гидрида натрия и последующего нагревания молярные концентрации трех веществ в растворе оказались равными. Вычислите массовые доли солей в конечном растворе.

958. Через 8,2%-й раствор фосфата натрия пропускали оксид азота (IV) до тех пор, пока в растворе масса азота не составила 67,74% от массы фосфора. Через образовавшийся раствор затем пропустили аммиак, в результате чего масса азота в растворе составила 90,32% от массы фосфора. При нагревании полученного раствора выделился один газ — азот. Вычислите массовые доли солей в конечном растворе.

959. К гидриду бария добавили 4,9%-й раствор фосфорной кислоты, которого взяли по массе в 7,2 раза больше. Масса надосадочной жидкости оказалась в 5,7 раза больше массы осадка, состоящего из двух веществ. Осадок отфильтровали, а к надосадочной жидкости добавили в 10 раз меньшую массу 20,8%-го

раствора гидросульфита натрия. Вычислите массовые доли веществ в надосадочной жидкости (условно считать, что кристаллогидраты в осадке не образуются).

960. Смесь ортофосфорной кислоты и оксида фосфора (V) обработали суспензией гидроксида кальция. После удаления воды смесь солей, в которой массы кислых кальциевых солей оказались равными между собой, сильно нагрели с избытком оксида кальция, графита и оксида кремния (IV). До простого вещества восстановилось 75% фосфора. Из выделенного фосфора путем нагревания с хлором получили 295 г смеси хлорида фосфора (III) и хлорида фосфора (V), в которой содержалось $4{,}214 \cdot 10^{24}$ атомов хлора. Вычислите массу гидроксида кальция, которой обработали исходную смесь.

961. Смесь ортофосфорной кислоты и оксида фосфора (V) обработали суспензией гидроксида бария. После удаления воды смесь веществ, в которой количества веществ кислых бариевых солей оказались равными между собой, сильно нагрели с избытком оксида бария, графита и оксида кремния (IV). До простого вещества восстановилось 80% фосфора. Полученный фосфор нагрели с магнием, в результате чего получили 100 г смеси веществ, в которой массовая доля металлического магния в 3,236 раза меньше массовой доли магния в составе фосфида. Вычислите массу гидроксида бария, которой обработали исходную смесь.

962. Водный раствор, содержащий дигидрофосфат аммония и гидрофосфат аммония, обработали оксидом кальция. После удаления воды в полученной смеси веществ массовая доля кальция оказалась в 2,4 раза больше массовой доли фосфора. Эту смесь сильно нагрели с избытком графита в присутствии оксида кремния (IV). До простого вещества восстановилось 90% фосфора. Выделенный фосфор нагрели с серой, получив смесь сульфидов, в которой число атомов серы в 2,25 раза больше атомов фосфора. Максимальная масса серы, с которой может вступить в реакцию смесь сульфидов, равна 6,4 г. Вычислите массу оксида кальция, которой обработали исходный раствор.

2.6. УГЛЕРОД И ЕГО СОЕДИНЕНИЯ

Углерод — элемент IVA-группы второго периода периодической системы. Электронная конфигурация его атома в основном состоянии $2s^2 2p^2$. Наличие двух неспаренных электронов объясняет двухвалентность углерода в некоторых соединениях. При возбуждении один из электронов с *s*-подуровня переходит на *p*-подуровень: $2s^1 2p^3$. Наличие в возбужденном атоме углерода четырех неспаренных электронов объясняет его четырехвалент-

ность. В подавляющем большинстве соединений валентность углерода равна 4. Большинство неметаллов более электроотрицательны, чем углерод. В соединениях с ними атомы углерода находятся в положительных степенях окисления (+2, +4). В соединениях с водородом, кремнием и металлами у углерода степени окисления отрицательны (−4, −1).

Углерод образует несколько простых веществ: графит, алмаз, карбин, фуллерены. Многие реакции как с простыми, так и со сложными веществами, в ходе которых проявляются восстановительные свойства углерода, уже приводились выше (кислородом, серой, азотом, серной кислотой, сульфатом натрия, фосфатом натрия). Приведем еще несколько примеров. Графит окисляется горячей концентрированной азотной кислотой:

$$C + 4HNO_3 \rightarrow CO_2\uparrow + 4NO_2\uparrow + 2H_2O$$

Коксом (уголь, подвергшийся специальной обработке и содержащий около 98% углерода) можно восстанавливать металлы из оксидов и солей (при нагревании), например:

$$C + FeO \rightarrow Fe + CO$$

$$2C + Na_2CO_3 \rightarrow 2Na + 3CO$$

При пропускании водяного пара над раскаленным углем (около 1000 °С) углерод восстанавливает водород:

$$H_2O + C \rightleftarrows CO + H_2$$

Из галогенов с простыми веществами, образованными углеродом, реагирует только фтор при нагревании выше 900 °С:

$$C + 2F_2 \rightarrow CF_4$$

Окислительные свойства углерода не очень выражены. В реакциях с водородом в зависимости от температурного режима образуется либо метан (около 600 °С), либо ацетилен (около 2000 °С). Графит окисляет кремний и металлы при высоких температурах, образуя карбиды, например:

$$C + Si \xrightarrow{1300\ ^\circ C} SiC$$

$$2C + Ca \xrightarrow{550\ ^\circ C} CaC_2$$

$$4Al + 3C \xrightarrow{1700\ ^\circ C} Al_4C_3$$

Реакции графита с некоторыми оксидами могут быть отнесены к реакциям диспропорционирования, например:

$$SiO_2 + 3C \rightarrow 2CO + SiC$$

$$CaO + 3C \rightarrow CaC_2 + CO$$

(обе реакции протекают при сильном нагревании).

В *карбидах* углерод находится в отрицательных степенях окисления. Большинство карбидов делится на метаниды и ацетилениды. Метаниды образуют при гидролизе метан, например:

$$Al_4C_3 + 12H_2O \rightarrow 4Al(OH)_3\downarrow + 3CH_4\uparrow$$

Ацетилениды образуют при гидролизе ацетилен, например:

$$CaC_2 + 2H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + C_2H_2\uparrow$$

К метанидам относится также карбид бериллия Be_2C, к ацетиленидам — карбиды K_2C_2, ZnC_2, Ag_2C_2, Cu_2C_2. Последние два карбида водой не гидролизуются, но реагируют с разбавленными кислотами, например:

$$Ag_2C_2 + 2HCl \rightarrow C_2H_2\uparrow + 2AgCl\downarrow$$

Есть карбиды более сложного строения. При гидролизе Mg_2C_3 образуется, например, пропин. В карбиде железа Fe_3C (цементит) один из атомов железа находится в степени окисления 0. Карбид железа также не реагирует с водой, но легко гидролизуется в присутствии разбавленных кислот.

Оксид углерода (II) — бесцветный газ без запаха и вкуса, температура плавления −205 °С, температура кипения −192 °С, в 100 г воды при н. у. растворяется 3,54 мл оксида углерода (II). Оксид углерода (II) называется также угарным газом; это очень сильный яд. Он образуется при неполном сгорании угля (в недостатке кислорода):

$$2C + O_2 \rightarrow 2CO$$

или при неполном сгорании различных органических соединений, в том числе углеводородов в двигателях внутреннего сгорания. Образуется он также в результате реакции

$$C + CO_2 \xrightarrow{t} 2CO$$

Оксид углерода (II) горюч:

$$2CO + O_2 \rightarrow 2CO_2$$

Оксид углерода (II) — сильный восстановитель, он используется в пирометаллургии, например, при получении железа:

$$3Fe_2O_3 + CO \rightarrow 2Fe_3O_4 + CO_2$$

$$Fe_3O_4 + CO \rightarrow 3FeO + CO_2$$

$$FeO + CO \rightarrow Fe + CO_2$$

или суммарно:

$$Fe_2O_3 + 3CO \rightarrow 2Fe + 3CO_2$$

При нагревании выше 230 °С оксид углерода (II) в присутствии катализатора (Fe_3O_4) обратимо реагирует с водой:

$$CO + H_2O \rightleftarrows CO_2 + H_2$$

В присутствии катализаторов оксид углерода (II) может окисляться в мягких условиях, например, перманганатом калия или дихроматом калия в слабощелочных растворах.

Оксид углерода (IV) (углекислый газ) — бесцветный газ без запаха, при нормальном давлении существует только в твердом и газообразном состоянии; температура возгонки −78,5 °С, в 100 г воды при н. у. растворяется 171 мл оксида углерода (IV). Оксид углерода (IV) обратимо реагирует с водой с образованием слабой *угольной кислоты*:

$$CO_2 + H_2O \rightleftarrows H_2CO_3$$

(равновесие сильно смещено в сторону оксида углерода). Угольная кислота существует только в разбавленных водных растворах и вытесняется из солей более сильными кислотами, например:

$$BaCO_3 + 2CH_3COOH \rightarrow Ba(CH_3COO)_2 + H_2O + CO_2\uparrow$$

Соли щелочных и щелочно-земельных металлов угольной кислоты образуются при взаимодействии оксида углерода (IV) с растворами щелочей, например:

$$CO_2 + NaOH \rightarrow NaHCO_3 \text{ (при избытке } CO_2)$$

$$CO_2 + 2NaOH \rightarrow Na_2CO_3 + H_2O \text{ (при избытке щелочи).}$$

Карбонаты других металлов (если они существуют) получаются по обменным реакциям с солями, например:

$$ZnCl_2 + Na_2CO_3 \rightarrow ZnCO_3\downarrow + 2NaCl$$

Алюминий, а также хром и железо в степени окисления +3 карбонаты не образуют; медь (II) образует только основной карбонат состава $(CuOH)_2CO_3$.

Карбонаты в водном растворе при действии оксида углерода (IV) или при постепенном (по каплям) добавлении сильной кислоты переходят в гидрокарбонаты, например:

$$CaCO_3 + CO_2 + H_2O \rightarrow Ca(HCO_3)_2$$

(наблюдается растворение осадка),

$$Na_2CO_3 + HNO_3 \rightarrow NaHCO_3 + NaNO_3$$

В твердом виде получены только гидрокарбонаты щелочных металлов и гидрокарбонат аммония (их растворимость ниже, чем растворимость соответствующих карбонатов). Остальные гидрокарбонаты существуют только в растворе (естественно, в виде ионов, поэтому правильнее говорить о сосуществовании в растворе гидрокарбонат-ионов и некоторых ионов металлов). Гидрокарбонаты при нагревании разлагаются. Гидрокарбонат натрия (питьевая сода) полностью разлагается при 300 °С, однако разложение начинается уже в горячем водном растворе:

$$2NaHCO_3 \rightarrow Na_2CO_3 + H_2O + CO_2\uparrow$$

Аммонийные соли угольной кислоты разлагаются при значительно более низких температурах:

$$(NH_4)_2CO_3 \xrightarrow{30\,^\circ C} NH_4HCO_3 + NH_3\uparrow$$

$$NH_4HCO_3 \xrightarrow{40\,^\circ C} NH_3\uparrow + H_2O + CO_2\uparrow$$

Нерастворимые карбонаты также подвержены термическому разложению:

$$MgCO_3 \xrightarrow{\sim 500\,^\circ C} MgO + CO_2$$

$$CaCO_3 \xrightarrow{\sim 1000\,^\circ C} CaO + CO_2$$

Для оксида углерода (IV) и карбонатов не характерны окислительные свойства, хотя эти вещества и содержат элемент (углерод) в высшей степени окисления. Тем не менее при определенных условиях окислительная функция может проявиться. Так, например, зажженный магний после внесения в атмосферу углекислого газа продолжает гореть:

$$2Mg + CO_2 \rightarrow 2MgO + C$$

Качественной реакцией на карбонаты является выделение углекислого газа (без цвета и запаха), который при пропускании через избыток известковой воды вызывает ее помутнение:

$$CO_3^{2-} + 2H^+ \rightarrow CO_2\uparrow + H_2O$$

$$CO_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaCO_3\downarrow + H_2O$$

Углекислый газ не обесцвечивает водный раствор перманганата калия.

Пример 39. В смеси сульфида калия и карбоната калия атомов калия в 2 раза больше числа Авогадро, а атомов серы в 3 раза меньше числа Авогадро. Вычислите массу и плотность смеси газов (н. у.), выделяющихся при обработке исходной смеси избытком соляной кислоты.

Решение. По условию задачи $\nu(S) = {}^1/_3$ моль; $\nu(K) = 2$ моль. Количество вещества K_2S равно количеству вещества серы, т. е. 0,3333 моль. В каждой формульной единице K_2S содержится 2 атома калия, поэтому количество вещества атомов калия равно удвоенному количеству вещества сульфида калия, т. е. $2 \cdot 0{,}3333 = 0{,}6667$ моль. Остальные атомы калия входят в состав карбоната калия, а именно $2 - 0{,}6667 = 1{,}333$ моль. Количество вещества карбоната калия будет в 2 раза меньше количества вещества атомов калия в его составе, т. е. $1{,}333 : 2 = 0{,}6667$ моль.

Реакции с избытком соляной кислоты протекают в соответствии с уравнениями:

$$K_2S + 2HCl \rightarrow 2KCl + H_2S\uparrow$$

$$K_2CO_3 + 2HCl \rightarrow 2KCl + CO_2\uparrow + H_2O$$

В соответствии со стехиометрическими соотношениями:

$$\nu(H_2S) = \nu(K_2S) = 0{,}3333 \text{ моль}; \ \nu(CO_2) = \nu(K_2CO_3) = 0{,}6667 \text{ моль}.$$

Рассчитаем массу каждого газа по формуле $m = M\nu$ и затем их суммарную массу:

$$m(H_2S) = 34 \cdot 0{,}3333 = 11{,}32 \text{ г};$$

$$m(CO_2) = 44 \cdot 0{,}6667 = 29{,}35 \text{ г};$$

$$m(CO_2 + H_2S) = m(H_2S) + m(CO_2) = 11{,}32 + 29{,}35 = 40{,}67 \text{ г}.$$

Суммарное количество вещества газов равно 1 моль, следовательно, плотность газовой смеси при н. у. можем рассчитать по формуле

$$\rho = m : V_m; \ \rho = 40{,}67 : 22{,}4 = 1{,}82 \text{ г/л}.$$

Пример 40. К раствору массой 150 г, в котором массовые доли гидроксида натрия и карбоната натрия равны соответственно 0,0187 и 0,0283, добавили некоторую массу гидрокарбоната натрия, при этом массовая доля гидроксида натрия снизилась до 0,0105. Вычислите массовые доли остальных веществ в растворе.

Решение. Рассчитаем массы веществ в исходном растворе по формуле

$$m(X) = m(\text{р-р})\,\omega(X); \ m(NaOH)_{\text{исх}} = 150 \cdot 0{,}0187 = 2{,}805 \text{ г};$$

$$m(Na_2CO_3)_{\text{исх}} = 150 \cdot 0{,}0283 = 4{,}245 \text{ г}.$$

Пусть масса добавленного $NaHCO_3$ равна x (г). По формуле

$$\nu(X) = m(X) : M(X)$$

найдем количество вещества NaOH

$$\nu(NaOH)_{\text{исх}} = 2{,}805 : 40 = 0{,}07013 \text{ моль}$$

и выразим количество вещества добавленного $NaHCO_3$

$$\nu(NaHCO_3) = x : 84 = 0{,}01190x.$$

В растворе протекает реакция:

$$NaOH + NaHCO_3 \rightarrow Na_2CO_3 + H_2O$$

Из условия задачи ясно, что щелочь была в избытке, следовательно, вступит в реакцию столько гидроксида натрия, сколько было взято гидрокарбоната натрия, а именно $0{,}1190x$ (моль).

Таким образом, в растворе останется $0{,}07013 - 0{,}01190x$ (моль) NaOH, что соответствует массе $40(0{,}07013 - 0{,}01190x)$. Очевидно, что масса полученного раствора составит $150 + x$. Теперь можем составить уравнение:

$$\omega(NaOH)_{итог} = \frac{m(NaOH)_{ост}}{m(р\text{-}ра)_{итог}};\ 0{,}0105 = \frac{40(0{,}07013 - 0{,}01190x)}{150 + x},\ \text{откуда}\ x = 2{,}529\ \text{г}.$$

Найдем количество вещества добавленного $NaHCO_3$:

$$\nu(NaHCO_3) = 2{,}529 : 84 = 0{,}0301\ \text{моль}.$$

В ходе реакции образовался дополнительно Na_2CO_3; его количество в соответствии с уравнением реакции равно $\nu(NaHCO_3)$, т. е. 0,0301 моль, что соответствует массе $106 \cdot 0{,}0301 = 3{,}191$ г.

Вычислим массу карбоната натрия в полученном растворе:

$$m(Na_2CO_3)_{итог} = m(Na_2CO_3)_{исх} + m(Na_2CO_3)_{обр} = 4{,}245 + 3{,}191 = 7{,}436\ \text{г}.$$

Масса полученного раствора составит $150 + 2{,}529 = 152{,}5$ г.

Рассчитаем массовую долю карбоната натрия по формуле

$$\omega(Na_2CO_3) = m(Na_2CO_3) : m(р\text{-}р);\ \omega(Na_2CO_3) = 7{,}436 : 152{,}5 = 0{,}0488.$$

Таким образом, $\omega(Na_2CO_3) = 4{,}9\%$, а $\omega(H_2O) = 100\% - 4{,}9\% = 95{,}1\%$.

ВОПРОСЫ, УПРАЖНЕНИЯ И ЗАДАЧИ

963. Приведите примеры неорганических соединений, в состав которых входит углерод, с которыми вы встречаетесь в повседневной жизни. В виде каких соединений встречается в природе углерод?

964. Приведите примеры ядовитых соединений углерода.

965. Напишите электронную конфигурацию внешнего уровня атома углерода и объясните, почему углерод в своих соединениях имеет преимущественно валентность 2 и 4.

966. Приведите электронные и структурные формулы: а) оксида углерода (II); б) оксида углерода (IV); в) метана.

967. Что общего в строении молекул аммиака, воды и метана? Чем они различаются по строению?

968. Какие вы знаете аллотропные модификации углерода? Чем они отличаются по химическим и физическим свойствам? Чем обусловлены эти различия?

969. Приведите уравнения реакций, в одной из которых графит является окислителем, а в другой — восстановителем.

970. Приведите пример реакции, в которой углекислый газ является окислителем.

971. В неподписанных пробирках находятся карбонат калия, карбонат магния, сульфат бария и сульфат аммония. Как с помощью воды и уксусной кислоты можно распознать эти вещества?

972. В неподписанных пробирках находятся гидрокарбонат аммония, карбонат бария, хлорид калия. Как без использования каких бы то ни было веществ можно распознать эти вещества?

973. Как, имея гидросульфит кальция и не пользуясь другими кальцийсодержащими веществами, получить гидрокарбонат кальция?

974. Используя карбонат бария, карбонат калия, хлорат калия, водород и, при необходимости, катализаторы, получите в чистом виде гидрокарбонат калия.

975. Используя карбонат магния, нитрит аммония и водород, получите в чистом виде гидрокарбонат аммония.

976. Используя гидрокарбонат натрия, сульфит калия, гидроксид бария и воду, получите в чистом виде гидрокарбонат калия.

977. Используя сульфат натрия, гидрокарбонат калия, гидроксид бария и воду, получите в чистом виде гидрокарбонат натрия.

978. Используя карбонат кальция, карбонат натрия, пероксид водорода и, при необходимости, катализаторы, получите в чистом виде гидрокарбонат натрия.

979. Имеются вода и оксид азота (IV). Выберите только одно простое вещество и одно основание и получите с использованием четырех веществ, а также продуктов их взаимодействия (без электролиза) следующие вещества: нитрит натрия, нитрат натрия, гидрокарбонат натрия, карбонат натрия и азот.

980. В водном растворе находятся хлорид аммония и карбонат аммония. Как можно доказать наличие в растворе каждого иона?

981. В воде растворили смесь сульфида натрия, карбоната натрия и сульфита натрия. Как можно доказать наличие в растворе каждого аниона?

982. Как, не используя реактивов, различить карбонат и сульфат любого щелочно-земельного металла?

983. Напишите уравнения реакций, протекающих без изменения степеней окисления, в соответствии со схемой:

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E$$

Все вещества содержат углерод; A и E — кислые соли; B и D — средние соли.

984. Напишите уравнения реакций, протекающих без изменения степеней окисления, в соответствии со схемой:

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E$$

Все вещества содержат углерод; A и E — средние соли; B и D — кислые соли.

985. Как можно разделить следующие газовые смеси: а) азот и углекислый газ; б) аммиак и угарный газ; в) угарный газ и углекислый газ; г) оксид углерода (IV) и оксид серы (IV); д) оксид азота (II) и оксид углерода (II); е) сероводород и угарный газ?

986. Как можно разделить смеси: а) графита и серы; б) карбоната натрия и сульфата натрия; в) карбоната кальция и сульфата кальция; г) карбида кальция и сульфида кальция?

Простые вещества

987. При сжигании 14,0 г угля получили 22,4 л (н. у.) смеси двух оксидов углерода. Вычислите массовую долю негорючих примесей в образце угля.

988. При сжигании графита в условиях недостатка кислорода была получена смесь двух оксидов углерода с плотностью по воздуху 1,41 и общим объемом 22,4 л (н. у.). Вычислите, какой объем воздуха был взят для проведения реакции.

989. При прокаливании фосфата алюминия с углем выделилось 3,36 л горючего газа (н. у.). Вычислите массу оксида алюминия, образовавшегося при этом.

990. Смесь графита и сульфата натрия в молярном соотношении 6 : 1 сильно прокалили. К полученной по окончании реакции смеси прибавили избыток соляной кислоты. Масса выделившегося газа оказалась равной 1,70 г. Вычислите массу исходной смеси.

991. Смесь графита и оксида цинка общей массой 195 г, в которой молярное соотношение исходных веществ равно 6 : 1, сильно прокалили. Какой объем (н. у.) газообразных продуктов выделится при обработке полученной по окончании реакции смеси избытком раствора серной кислоты: а) $\omega(H_2SO_4) = 10{,}0\%$; б) $\omega(H_2SO_4) = 98{,}0\%$ (при нагревании)?

Карбиды

992. В смеси карбида алюминия и карбида кальция число атомов алюминия равно числу атомов кальция. При гидролизе этой смеси выделяется 1,12 л (н. у.) смеси газов. Вычислите массу исходной смеси карбидов.

993. Каким должно быть молярное соотношение карбида алюминия и карбида кальция в смеси, чтобы смесь углеводородов, выделяющаяся при обработке этой смеси водой, имела при одинаковых условиях плотность, равную неону?

994. Смесь карбида кальция и карбида серебра разделили на две равные части. Одну обработали избытком воды, другую — избытком соляной кислоты. Объемы выделившихся газообразных продуктов, измеренные при одинаковых условиях, различались в этих случаях в 3 раза. Вычислите массовые доли веществ в исходной смеси.

995. Смесь карбида серебра и карбида кальция обработали избытком воды, при этом выделилось 1,12 л газа (н. у.). Такую же смесь обработали 1,00 кг 2,19%-й соляной кислоты; в этом случае объем газа оказался ровно в 4 раза больше, чем в предыдущем. Вычислите массовые доли кислоты и соли в полученном растворе.

Оксиды углерода

996. Объем кислорода, который может вступить в реакцию со смесью углекислого газа и угарного газа, в 10 раз меньше объема этой смеси. Рассчитайте объемные доли газов в исходной смеси.

997. В смеси оксидов двух разных металлов массовая доля одного из металлов равна 25%, а другого — 35%. Вычислите объем оксида углерода (II) (н. у.), который потребуется для полного восстановления обоих металлов из 200 г такой смеси.

998. Масса углекислого газа, пропущенного через раствор гидроксида натрия, в 2 раза меньше массы щелочи. Вычислите, в каком молярном соотношении находятся соединения натрия в образовавшемся растворе.

999. Через 480 г 10,0%-го раствора гидроксида натрия пропустили 8,96 л (н. у.) смеси углекислого газа и оксида серы (IV), имеющей плотность по воздуху 2,034. Вычислите массовые доли веществ в получившемся растворе.

1000. В смеси угарного и углекислого газов массовые доли веществ равны. Во сколько раз изменится объем этой смеси после пропускания через избыток известковой воды?

1001. Смесь углекислого газа и угарного газа с плотностью 1,50 г/л (20 °С, нормальное давление) была пропущена через трубку с избытком раскаленных оксидов меди и железа. Масса трубки уменьшилась на 0,400 г. Вычислите объем исходной смеси газов.

1002. Смесь азота и двух оксидов углерода общим количеством вещества 0,600 моль при пропускании через избыток раствора щелочи сокращается по объему на 16,7%. В реакции с кис-

лородом масса не поглощенного щелочью газа увеличивается на 3,20 г. Вычислите объемные доли газов в исходной газовой смеси.

1003. Смесь оксида серы (IV), оксида углерода (IV) и оксида углерода (II) пропустили через избыток раствора гидроксида бария. Объем газовой смеси сократился при этом ровно в 2 раза. Полученный осадок массой 30,6 г обработали подкисленным раствором перманганата калия, в котором находилось 0,03 моль $KMnO_4$. К полученному после отделения осадка фиолетовому раствору добавили 3,00%-й раствор пероксида водорода до полного обесцвечивания. Всего потребовалось добавить 28,3 г раствора. Вычислите массовые доли газов в исходной газовой смеси.

1004. При пропускании через раскаленный уголь смеси азота и углекислого газа с плотностью, составляющей 81,8% от плотности углекислого газа, получена смесь газов общим объемом 56 л (н. у.), с плотностью, составляющей 70,9% от плотности углекислого газа. Вычислите, на сколько уменьшилась масса угля.

Карбонаты и гидрокарбонаты

1005. Через 100 мл раствора гидроксида калия с концентрацией 4,00 моль/л пропустили углекислый газ. В сухом остатке массовая доля калия оказалась в 4 раза больше массовой доли углерода. Вычислите массы образовавшихся солей.

1006. Какой объем углекислого газа (н. у.) следует пропустить через взвесь в воде карбоната кальция массой 20,0 г до получения прозрачного раствора?

1007. Смесь карбоната стронция и гидрокарбоната аммония общей массой 12,0 г, в которой масса атомов углерода в 12 раз больше массы атомов водорода, добавили к избытку 10,0%-го раствора серной кислоты. Вычислите массу выпавшего осадка и объем выделившегося газа (н. у.)

1008. Во сколько раз масса выделившегося газа будет меньше массы раствора, полученного при добавлении 12,6 г карбоната магния к 123 г раствора с массовыми долями серной и азотной кислот по 0,03?

1009. Какой объем газа (н. у.) выделится при добавлении к 20,0 г 20,0%-го раствора серной кислоты 20,0 г смеси карбоната калия и гидрокарбоната натрия с одинаковым числом атомов калия и водорода?

1010. В результате полного разложения карбоната аммония при 80 °С и 99 кПа выделилась смесь газов суммарным объемом 1,33 л. Вычислите, при какой температуре (без изменения давления) суммарный объем продуктов разложения этой соли составит ровно 2 л.

1011. В смеси трех солей калия количество вещества карбонат-ионов равно суммарному количеству вещества сульфат-ионов и гидрокарбонат-ионов, а суммарное количество вещества карбонат-ионов и гидрокарбонат-ионов в 1,5 раза больше количества вещества сульфат-ионов. Количество вещества ионов калия равно 20 ммоль. Вычислите массу осадка, которая выделится при обработке такой смеси избытком разбавленного раствора нитрата бария.

1012. К раствору массой 90,0 г, в котором массовые доли гидроксида натрия и карбоната натрия равны соответственно 1,33 и 2,36%, добавили 4,20 г гидрокарбоната натрия. Вычислите массовые доли всех веществ в образовавшемся растворе.

1013. Смешали 50,0 мл раствора гидросульфата калия (c=0,100 моль/л) и 100 мл раствора гидрокарбоната калия (c=0,050 моль/л). Из полученного раствора выпарили воду. Что собой представляет сухой остаток и какова его масса?

1014. К 250 г раствора, в котором массовая доля соляной кислоты равна 1,46%, а хлорида цинка — 0,544%, добавили карбонат цинка, при этом массовая доля хлорида цинка увеличилась вдвое. Вычислите массовую долю хлороводорода в получившемся растворе.

1015. Какую массу 1,50%-го олеума необходимо добавить к 15,0 г раствора, содержащего по 5,00% (по массе) сульфата и гидрокарбоната натрия, чтобы массовая доля гидросульфата натрия в получившемся растворе стала равной 10,0%?

1016. Вычислите массу осадка, который образуется при пропускании через избыток известковой воды 0,200 л смеси оксида углерода (IV) и оксида серы (IV) (н. у.), в которой на 1 атом серы приходится 10 атомов кислорода.

1017. Раствор гидрокарбоната натрия прокипятили без потери воды, в результате чего кислая соль полностью разложилась. Чему будет равна массовая доля средней соли в полученном растворе, если массовая доля кислой в исходном растворе равна a (%)? Чему была равна массовая доля кислой соли в исходном растворе, если массовая доля средней соли в полученном растворе равна b (в долях единицы)?

1018. Насыщенный раствор массой 100 г гидрокарбоната калия (растворимость 33,3 г на 100 г воды) прокипятили. Анализ полученного раствора показал, что кислой соли в растворе не осталось, а массовая доля средней соли равна 0,220. Вычислите, какая масса воды испарилась в процессе кипячения раствора.

1019. Смесь гидрокарбоната натрия и гидросульфата натрия, молярное соотношение солей в которой равно 4 : 1, прокалили до постоянной массы. Газообразные продукты, выделившиеся в ходе реакции, пропустили через избыток известковой воды. Масса

осадка оказалась равной 1,00 г. Вычислите массу исходной смеси солей.

1020. Вычислите массовые доли гидросульфита кальция и гидрокарбоната кальция в смеси, если известно, что при обработке этой смеси избытком соляной кислоты выделилась смесь газов с плотностью по аргону 1,50.

1021. В смеси сульфита кальция и гидрокарбоната кальция число атомов кальция в 6 раз больше числа атомов серы. Вычислите плотность по воздуху газовой смеси, образующейся при обработке этой смеси избытком разбавленного раствора H_2SO_4.

1022. Раствор гидрокарбоната калия массой 200 г с массовой долей 6,00% нагрели до 100 °С. После охлаждения раствор разделили на две равные части. К одной из них добавили избыток азотной кислоты, при этом выделилось 1,12 л газа (н. у.). Вычислите массовые доли веществ в другой половине раствора.

1023. Раствор гидрокарбоната калия объемом 300 мл с концентрацией 0,900 моль/л нагрели до кипения, после испарения всей воды масса сухого остатка составила 20,8 г. К остатку добавили 5,00 мл раствора гидроксида калия с концентрацией 10,0 моль/л, а затем воды до объема 150 мл. Вычислите молярные концентрации веществ в образовавшемся растворе.

1024. Раствор гидрокарбоната натрия объемом 250 мл (c=0,850 моль/л) нагрели до кипения, после испарения всей воды масса сухого остатка составила 12,89 г. Этот остаток растворили в 131 мл раствора NaOH (c=0,611 моль/л; пл. 1,025 г/мл). Вычислите массовые доли веществ в образовавшемся растворе.

1025. Образец гидрокарбоната натрия после нагревания потерял 18,5% своей массы. К полученному сухому остатку добавили в 10 раз большую массу 3,84%-й соляной кислоты. Вычислите массовые доли веществ в получившемся растворе.

1026. Раствор объемом 120 мл, содержащий 3,12 г смеси карбоната натрия и гидрокарбоната калия, обработали избытком гидроксида бария. При действии на полученный осадок избытком серной кислоты выделилось 743 мл газа (25 °С, 100 кПа). Вычислите молярные концентрации солей в исходном растворе.

1027. Раствор гидрокарбоната калия объемом 250 мл с концентрацией 0,5 моль/л нагрели до 100 °С. После охлаждения раствор разделили на две равные части. Одну из них полностью выпарили. Остаток подвергли прокаливанию до постоянной массы, при этом выделилось 140 мл газа. Через другую часть раствора пропустили 4,148 л смеси оксида серы (IV) и метана с плотностью по воздуху, равной 1,00, и затем объем раствора довели до 200 мл. Вычислите молярные концентрации веществ в образовавшемся растворе. Объемы газов измерены при н. у.

1028. К 150 г 10%-го раствора карбоната калия добавили раствор гидросульфата аммония, в результате чего образовался раствор объемом 250 мл, в котором молярная концентрация ионов калия в 2 раза меньше молярной концентрации ионов аммония. Рассчитайте молярные концентрации анионов в полученном растворе.

2.7. КРЕМНИЙ И ЕГО СОЕДИНЕНИЯ

Кремний — элемент IVA-группы третьего периода периодической системы элементов. В соединениях с неметаллами у кремния положительные степени окисления (преимущественно +4), с металлами — отрицательные (преимущественно −4). Кристаллический кремний — весьма инертное вещество, аморфный кремний окисляется многими неметаллами (кислородом, галогенами, серой, азотом, графитом), водой, щелочами, фтороводородной кислотой. Большинство реакций протекает при повышенной температуре. Например:

$$Si + 2F_2 \rightarrow SiF_4$$

$$Si + O_2 \rightarrow SiO_2$$

$$3Si + 4NH_3 \xrightarrow{\sim 1500\ ^\circ C} Si_3N_4 + 6H_2$$

$$Si + 2H_2O \xrightarrow{\sim 500\ ^\circ C} SiO_2 + 2H_2\uparrow$$

$$Si + 2NaOH + H_2O \rightarrow Na_2SiO_3 + 2H_2\uparrow$$

Кремний с водородом непосредственно не реагирует. Кремневодороды, или *силаны*, являются аналогами алканов. Их общая формула Si_nH_{2n+2}. Силаны получают косвенным путем. Они значительно более реакционноспособны, чем алканы. Они гидролизуются горячей водой, горят на воздухе и окисляются нейтральным водным раствором перманганата калия (на примере моносилана):

$$SiH_4 + 3H_2O \rightarrow SiO_2 \cdot H_2O\downarrow + 4H_2\uparrow$$

$$3SiH_4 + 8KMnO_4 + H_2O \rightarrow 8MnO_2\downarrow + 3SiO_2 \cdot H_2O\downarrow + 8KOH$$

Кремний является окислителем только в реакциях с металлами (при сплавлении). Образующиеся соединения называются *силицидами*, например:

$$Si + 2Mg \xrightarrow{t} \underset{\text{силицид магния}}{Mg_2Si}$$

Моносилан с примесями полисиланов получается при гидролизе силицида магния (показан основной продукт):

$$Mg_2Si + 4H_2O \rightarrow 2Mg(OH)_2\downarrow + SiH_4\uparrow$$

Оксид кремния (IV) — одно из наиболее распространенных соединений кремния, существующее в виде многих полиморфных модификаций. В природе встречаются в основном кварц и кремнезем. Оксид кремния (IV) — кислотный оксид. Кристаллическая форма SiO_2 — малоактивное вещество, аморфная форма более активна. В водном растворе над аморфным оксидом кремния (IV) содержится небольшое количество ортокремниевой кислоты H_4SiO_4.

Аморфная форма SiO_2 растворяется в концентрированных растворах щелочей с образованием силикатов:

$$SiO_2 + 2NaOH \rightarrow Na_2SiO_3 + H_2O$$

$$Na_2SiO_3 + 2NaOH \rightarrow Na_4SiO_4 + H_2O$$

Оксид кремния реагирует с фтороводородом, вследствие этого плавиковую кислоту нельзя хранить в стеклянной посуде. Образующийся в ходе реакции газообразный фторид кремния (IV) реагирует затем с избытком фтороводорода с образованием гексафторокремниевой кислоты:

$$SiO_2 + 4HF \rightarrow SiF_4 + 2H_2O$$

$$SiF_4 + 2HF \rightarrow H_2[SiF_6]$$

Оксид кремния (IV) — слабый окислитель и восстанавливается только сильными восстановителями при значительном нагревании (1300 °С), например:

$$SiO_2 + C \rightarrow SiO + CO$$

$$SiO_2 + 2Mg \rightarrow 2MgO + Si$$

Обе реакции проводят в отсутствие воздуха.

Существуют разные по составу *кремниевые кислоты и силикаты*. При взаимодействии растворимых метасиликатов Me_2SiO_3 или ортосиликатов Me_4SiO_4 с водными растворами сильных кислот осаждаются кремниевые кислоты переменного состава $mSiO_2 \cdot nH_2O$, где Me — щелочные металлы. В разбавленном растворе H_4SiO_4 медленно протекает поликонденсация с образованием смеси дикремниевых кислот. Например:

$$K_2SiO_3 + 2HCl \rightarrow SiO_2 \cdot H_2O\downarrow + 2KCl$$

$$Na_4SiO_4 + 2H_2SO_4 \rightarrow SiO_2 \cdot 2H_2O\downarrow + 2Na_2SO_4$$

$$SiO_2 \cdot 2H_2O\downarrow \rightleftarrows H_4SiO_4$$

$$2H_4SiO_4 \rightarrow H_6Si_2O_7 + H_2O$$

$$H_6Si_2O_7 \rightarrow H_2Si_2O_5 + 2H_2O$$

В конечном счете образуется в основном полимер состава $(H_2SiO_3)_n$, существующий преимущественно в виде коллоидного раствора. Формула, часто приписываемая в школьных учебниках кремниевой кислоте H_2SiO_3, условна, так как мономер такого состава (метакремниевая кислота) из раствора выделить не удается. Все кремниевые кислоты — слабые. Они вытесняются из водных растворов даже слабыми кислотами, такими, например, как угольная:

$$K_2SiO_3 + CO_2 + H_2O \rightarrow K_2CO_3 + H_2SiO_3\downarrow$$

В противоположном направлении процесс может протекать при сплавлении при высокой температуре карбоната щелочного металла и оксида кремния (IV):

$$K_2CO_3 + SiO_2 \rightarrow K_2SiO_3 + CO_2\uparrow.$$

Реакция протекает за счет очень большой разницы в летучести оксидов углерода и кремния (напомним, температура возгонки CO_2 равна $-78{,}5$ °C; температура кипения SiO_2 равна $+2950$ °C). Таким образом, нелетучий кислотный оксид вытесняет летучий кислотный оксид из соли.

Растворимые силикаты подвергаются в водных растворах сильному гидролизу по аниону. Процессы, происходящие при этом, более сложны по сравнению с гидролизом других анионов, соответствующих слабым кислотам. Среди продуктов гидролиза — димерные формы анионов, а также полимерная форма $(HSiO_3^-)_n$, существующая только в растворе (гидросиликатов в твердом виде не существует). Силикат-ионы и ионы аммония в водном растворе вступают в реакцию совместного гидролиза, например:

$$2NH_4Cl + K_2SiO_3 \rightarrow 2KCl + 2NH_3\uparrow + SiO_2 \cdot H_2O\downarrow$$

ВОПРОСЫ, УПРАЖНЕНИЯ И ЗАДАЧИ

1029. Приведите примеры соединений, в составе которых в природе встречается кремний.

1030. Какие существуют аллотропные модификации кремния?

1031. Объясните, почему высшие оксиды углерода и кремния значительно различаются по температурам плавления.

1032. Приведите уравнение реакции, подтверждающей кислотные свойства оксида кремния (IV).

1033. Как можно получить в лаборатории кремний?

1034. Не приводя уравнений химических реакций, охарактеризуйте отношение кремния к кислотам и щелочам.

1035. Не приводя уравнений химических реакций, охарактеризуйте отношение кремния к простым веществам.

1036. Приведите общую формулу кремниевых кислот.

1037. Состав каолина, белой слюды и асбеста выражается соответственно формулами $H_4Al_2Si_2O_9$, $H_4K_2Al_6Si_6O_{24}$ и $CaMg_3Si_4O_{12}$. Запишите формулы этих соединений в виде суммы оксидов.

1038. Приведите схематично реакцию, лежащую в основе разрушения силикатных минералов под действием веществ окружающей среды.

1039. При каких условиях может протекать реакция между гидрокарбонатом калия и оксидом кремния (IV)?

1040. Состав стекла выражают формулой $Na_2O \cdot CaO \cdot 6SiO_2$. Приведите уравнение реакции, лежащей в основе варки стекла, если взяты следующие исходные вещества: известняк, уголь, белый песок и сульфат натрия.

1041. В двух неподписанных пробирках находятся силикат бария и карбонат бария. Как, не используя реактивов, установить, где находится какая соль?

1042. Если истертое в тонкий порошок стекло взболтать с горячей водой и затем прибавить фенолфталеин, то жидкость окрасится в розовый цвет. Объясните этот факт.

1043. Как можно выделить кремний из его смеси с серой и углем?

1044. В двух неподписанных пробирках находятся силикат калия и карбонат калия. Как, используя только один реактив (не кислоту), можно установить, где находится какая соль?

1045. Напишите уравнения реакций, протекающих при пропускании через водный раствор силиката натрия: а) избытка оксида серы (IV); б) оксида азота (IV).

1046. Напишите уравнения реакций взаимодействия в водном растворе между силикатом калия и: а) избытком сероводорода; б) гидрофосфатом аммония (при нагревании). Укажите общее в этих реакциях и черты различия.

1047. Составьте уравнения реакций по схеме: кремнезем → силицид магния → силан → кремнезем → силикат натрия.

1048. Имеются вода и оксид кремния (IV). Выберите только одно основание и одну соль и получите с использованием четырех веществ, а также продуктов их взаимодействия следующие вещества: углекислый газ, силикат калия, силикат кальция, гидроксид калия, гидрокарбонат калия.

1049. Имеются вода и гидроксид калия. Выберите только два простых вещества и получите с использованием четырех веществ, а также продуктов их взаимодействия следующие вещества: силикат калия, хлорид калия, кислород, водород, кремниевую кислоту.

1050. Имеются азотная кислота и вода. Выберите только одну соль и одно основание и получите с использованием четырех веществ, а также продуктов их взаимодействия следующие вещества: оксид кремния, силикат калия, нитрит калия, нитрат натрия, оксид азота (IV).

1051. Смесь кремния и графита обработали избытком концентрированного раствора щелочи, в результате чего выделилось 0,560 л (н. у.) газа. Нерастворившийся остаток отделили от раствора, промыли и обработали избытком горячей концентрированной серной кислоты. Объем выделившихся в этом случае газов также составил 0,560 л. Вычислите массовые доли веществ в исходной смеси.

1052. Образец технического кремния содержит 5,00% примесей, а образец технического магния — 10,0% примесей. В каком соотношении по массе следует смешать эти два образца, чтобы кремний и магний прореагировали полностью?

1053. Масса твердого продукта реакции, полученного при сжигании смеси графита и кремния в избытке кислорода, равна массе исходной смеси. Вычислите массовую долю кремния в исходной смеси.

1054. Смесь магния и оксида кремния (IV) сильно нагрели в отсутствие воздуха, вещества вступили в реакцию полностью. Массовая доля силицида магния в полученной смеси равна 15,83%. Вычислите массовые доли кремния и оксида магния.

1055. Смесь магния и оксида кремния (IV) сильно нагрели в отсутствие воздуха, вещества вступили в реакцию полностью. В полученной смеси кремния, силицида магния и оксида магния массовая доля простого вещества равна 15,05%. Вычислите массовую долю магния в исходной смеси.

1056. Смесь магния и оксида кремния (IV), в которой массовая доля магния больше массовой доли оксида кремния в 1,2 раза, сильно нагрели в отсутствие воздуха. Вычислите массовую долю простого вещества в полученной смеси кремния, оксида магния и силицида магния.

1057. Смесь метасиликата натрия и карбоната калия общей массой 5,36 г обработали избытком 20%-й соляной кислоты, в результате чего из раствора выделился газ объемом 672 мл. Молярная концентрация ионов водорода в полученном растворе оказалась в промежутке между молярными концентрациями других катионов. Вычислите область допустимых значений массы добавленной соляной кислоты.

1058. В растворе, содержащем метасиликат натрия и сульфат натрия, масса натрия составляет 9,86 г, а масса кремния равна массе серы. Через этот раствор пропустили бромоводород, в результате чего масса брома сравнялась с массой кремния, содержащегося в растворе. Вычислите объем пропущенного бромоводорода (20 °С, 100 кПа).

1059. Массовая доля калия в растворе, содержащем силикат калия и сульфат калия, равна 0,909%, а масса серы равна массе кремния. К этому раствору добавили в 4 раза меньшую массу соляной кислоты с массовой долей хлороводорода 1,46%. Вычислите, во сколько раз масса серы оказалась больше массы кремния в образовавшемся растворе.

1060. В смеси силиката калия и сульфата натрия суммарное количество вещества атомов щелочных металлов равно 1 моль, а общее число атомов равно $1{,}987 \cdot 10^{24}$. Эту смесь растворили в достаточном объеме воды. Какой объем иодоводорода (н.у.) следует пропустить через данный раствор, чтобы в полученном растворе массы иода и кремния сравнялись?

1061. При обработке смеси кремния, оксида кремния (IV) и карбоната кальция избытком плавиковой кислоты масса нерастворившегося остатка составила 29,0 г. При обработке той же смеси такой же массы избытком соляной кислоты масса нерастворившегося остатка равна 11,6 г, а объем выделившегося газа — 6,72 л (н. у.). Вычислите массы веществ в исходной смеси.

1062. Смесь графита и оксида кремния (IV) обработали избытком фтороводородной кислоты; твердый остаток, полученный после отделения от раствора и промывания, оказался по массе ровно в 2 раза меньше исходной смеси. После его обработки при нагревании избытком концентрированной азотной кислоты выделилось 2,24 л (н. у.) смеси газов, имеющей относительную плотность по углекислому газу больше 1. Вычислите массу исходной смеси.

1063. Какая масса технического образца оксида кремния (IV), содержащего 5,00% примесей, была сплавлена с 44,8 г гидроксида калия, если при этом получили 53,9 г силиката калия?

1064. При сплавлении карбоната натрия и оксида кремния (IV) общей массой 101 г было получено 11,2 л (н. у.) газа. Вычислите массовые доли веществ в исходной смеси.

1065. Имеется смесь оксида кальция, оксида фосфора (V) и оксида кремния, в которой количества веществ кислотных оксидов равны между собой. Чему равна массовая доля в этой смеси основного оксида, если известно, что после ее нагревания в полученном остатке находятся только соли?

1066. Имеется смесь гидроксида калия, карбоната натрия и моногидрата оксида кремния (IV). Количество вещества кислоты в этой смеси в 4 раза больше количества вещества щелочи.

Вычислите массовую долю соли в этой смеси, если известно, что после ее прокаливания в сухом остатке будут содержаться только силикаты.

1067. Смесь оксида кремния (IV) и карбоната кальция сильно нагрели, масса выделившегося при этом газа оказалась в 1,818 раза меньше твердого остатка. Масса твердого остатка при промывании водой уменьшилась. Вычислите, во сколько раз в исходной смеси число атомов кислорода было больше числа атомов кремния.

1068. При обработке смеси натриевых солей метакремниевой, серной и угольной кислот общей массой 36,2 г избытком разбавленной азотной кислоты масса осадка составила 3,90 г, а объем выделившегося газа — 3,36 л (н. у.). Вычислите массовые доли веществ в исходной смеси.

1069. Через водный раствор, содержащий 77,0 г метасиликата калия, пропустили 17,82 г галогеноводорода. Выпавший осадок отфильтровали, а полученный раствор выпарили. Масса сухого остатка (в пересчете на безводные соли) составила 86,24 г. Вычислите массовую долю галогенида в полученном сухом остатке.

1070. К избытку насыщенного раствора сульфата аммония добавили 28,0%-й раствор метасиликата калия (пл. 1,29 г/мл). Раствор прокипятили до полного выделения газа, который собрали и пропустили через раствор азотной кислоты. В полученном растворе объемом 500 мл концентрация ионов аммония оказалась равной 0,800 моль/л. Какой объем раствора силиката калия был добавлен?

1071. Какой объем углекислого газа (н. у.) нужно пропустить через 50,0 г 12,5%-го раствора метасиликата натрия, чтобы массовые доли солей сравнялись?

1072. При стоянии на воздухе из 150 г 15,0%-го раствора силиката калия выпал осадок моногидрата оксида кремния (IV) массой 7,80 г, который отделили. Вычислите массовые доли веществ в полученном растворе.

1073. В смеси трех солей калия, образованных серной и метакремниевой кислотами, число атомов кремния равно числу атомов серы, а число атомов водорода в 7 раз меньше числа атомов калия. Число атомов кислорода в этой смеси равно $4{,}214 \cdot 10^{23}$. Смесь растворили в воде. Вычислите, какой объем раствора нитрата магния с концентрацией 0,0500 моль/л следует прибавить к полученному раствору до прекращения выделения осадка.

2.8. МЕТАЛЛЫ IA- И IIA-ГРУПП

Металлы IA- и IIA-групп относятся к семейству *s*-элементов.

Наиболее распространенными элементами IA-группы являются *литий, натрий* и *калий*. Атомы металлов IA-группы имеют электронную конфигурацию ns^1. Они легко отдают свой электрон, превращаясь в соответствующий катион. Все металлы IA-группы имеют в соединениях постоянную степень окисления (+1). Металлы IA-группы — сильные восстановители, они реагируют с водой с образованием щелочей, например:

$$2Li + 2H_2O \rightarrow 2LiOH + H_2\uparrow$$

поэтому эти металлы называют щелочными.

Металлические свойства элементов усиливаются, как и во всех группах А периодической системы, сверху вниз. Щелочные металлы могут вытеснять другие, менее активные металлы, из их солей только в расплавах (преимущественно хлоридов), например:

$$3Na + FeCl_3 \rightarrow 3NaCl + Fe$$

Щелочные металлы реагируют практически со всеми неметаллами; многие реакции приводились выше. Приведем еще несколько примеров:

$$2K + I_2 \rightarrow 2KI \text{ (при комнатной температуре)}$$

$$6Li + N_2 \rightarrow 2Li_3N \text{ (при комнатной температуре)}$$

$$3K + P \text{ (красный)} \xrightarrow{200\,^\circ C} K_3P$$

$$2Na + 2C \xrightarrow{200\,^\circ C} Na_2C_2$$

$$Na + Si \xrightarrow{t} NaSi$$

Щелочные металлы быстро окисляются на воздухе (калий самовоспламеняется), поэтому их хранят под слоем керосина. В реакциях с кислородом литий образует оксид Li_2O, натрий — преимущественно пероксид Na_2O_2, а калий — надпероксид KO_2. Оксиды натрия и калия получают косвенным путем, например:

$$Na_2O_2 + 2Na \rightarrow 2Na_2O$$

$$2K + 2KOH \rightarrow 2K_2O + H_2$$

(обе реакции протекают при повышенной температуре).

Оксиды щелочных металлов реагируют с водой, образуя щелочи. Пероксид натрия реагирует с углекислым газом по уравнению

$$2Na_2O_2 + 2CO_2 \rightarrow 2Na_2CO_3 + O_2$$

Это свойство позволяет использовать Na_2O_2 для регенерации кислорода в замкнутых пространствах. При обработке пероксида натрия серной кислотой на холоду образуется пероксид водорода:

$$Na_2O_2 + H_2SO_4 \rightarrow Na_2SO_4 + H_2O_2$$

Атомы металлов IIA-группы имеют электронную конфигурацию ns^2. Металлические свойства в периодах уменьшаются слева направо, поэтому в пределах одного периода элемент IIA-группы имеет несколько менее выраженные металлические свойства по сравнению с элементом IA-группы. Все металлы IIA-группы имеют в соединениях постоянную степень окисления (+2).

Бериллий — амфотерный металл; его оксид реагирует как с растворами щелочей, так и с растворами кислот:

$$BeO + 2NaOH + 2H_2O \rightarrow Na_2[Be(OH)_4]$$

тетрагидроксобериллат натрия

$$BeO + 2HCl \rightarrow BeCl_2 + H_2O$$

Магний — значительно более активный металл, чем бериллий. На холоду он практически не реагирует с водой, однако при нагревании реакция протекает достаточно быстро:

$$Mg + 2H_2O \rightarrow Mg(OH)_2 + 2H_2\uparrow$$

Другие металлы IIA-группы — *кальций, стронций, барий*, называемые щелочно-земельными металлами, реагируют с водой даже на холоду, образуя щелочи, например:

$$Sr + 2H_2O \rightarrow Sr(OH)_2 + H_2\uparrow$$

Гидроксиды щелочно-земельных металлов растворяются хуже, чем гидроксиды щелочных металлов (сравните растворимость при 20 °C: KOH — 112 г/100 г воды; $Ca(OH)_2$ — 0,165 г/100 г воды). Гидроксиды калия, натрия, бария и кальция — типичные основания; они вступают во все реакции, характерные для этого класса соединений. Гидроксиды калия и натрия — термически устойчивые соединения, гидроксиды металлов IIA-группы при нагревании разлагаются:

$$Mg(OH)_2 \xrightarrow{\sim 400\,^\circ C} MgO + H_2O$$

$$Ca(OH)_2 \xrightarrow{\sim 550\,^\circ C} CaO + H_2O$$

$$Ba(OH)_2 \xrightarrow{\sim 800\,^\circ C} BaO + H_2O$$

Физические свойства наиболее распространенных металлов IA- и IIA-группы приведены ниже.

Металл	Na	K	Mg	Ca	Ba
Температура плавления, °C	98	63	651	850	710
Температура кипения, °C	886	760	1107	1480	1640
Плотность, г/см^3	0,97	0,85	1,74	1,54	3,76

Пример 41. К какому объему 10,0%-го раствора серной кислоты (пл. 1,07 г/мл) добавили 5,00 г гидрида калия, если выяснилось, что по окончании реакции молярные концентрации соли и щелочи сравнялись?

Решение. В растворе протекают реакции:

$$2KH + H_2SO_4 \rightarrow K_2SO_4 + 2H_2\uparrow$$

$$KH + H_2O \rightarrow KOH + H_2\uparrow$$

$$2KOH + H_2SO_4 \rightarrow K_2SO_4 + 2H_2O$$

В полученном растворе останутся, кроме воды, сульфат калия и гидроксид калия. Равенство молярных концентраций веществ в растворе означает равенство количеств веществ. Примем, что $\nu(KOH) = \nu(K_2SO_4) = x$.

Вычислим количество вещества гидрида калия по формуле

$$\nu(KH) = m(KH) : M(KH);\ \nu(KH) = 5 : 40 = 0{,}125 \text{ моль}.$$

Отметим, что $\nu(K) = \nu(KH) = 0{,}125$ моль.

Выразим через x количества вещества ионов калия в обоих соединениях, оставшихся в растворе:

$$\nu(K \text{ в } KOH) = x;\ \nu(K \text{ в } K_2SO_4) = 2x.$$

Теперь составим уравнение:

$$3x = 0{,}125, \text{ откуда } x = 0{,}04167 \text{ моль}.$$

В соответствии со стехиометрическими соотношениями протекающих реакций

$$\nu(H_2SO_4) = \nu(K_2SO_4) = 0{,}04167 \text{ моль}.$$

Объем раствора серной кислоты найдем по формуле

$$V(H_2SO_4, \text{р-р}) = \frac{M(H_2SO_4)\,\nu(H_2SO_4)}{\omega(H_2SO_4)\,\rho(\text{р-р})};$$

$$V(H_2SO_4,р\text{-}р) = \frac{98 \cdot 0{,}04167}{0{,}1 \cdot 1{,}07} = 38{,}2 \text{ мл}.$$

Пример 42. Оксид серы (IV) объемом 4,48 л (н. у.) пропустили через нагретую до 200 °С трубку с гидридом лития. Вышедший из трубки газ пропустили через избыток водного раствора нитрата меди, при этом образовался черный осадок. Оставшуюся в трубке смесь растворили в избытке раствора гидроксида бария, при этом выделился газ и образовался белый осадок, не растворимый в кислотах. Вычислите массы обоих осадков.

Решение. В трубке протекает реакция

$$2SO_2 + 2LiH \rightarrow Li_2SO_4 + H_2S\uparrow$$

Выделяющийся сероводород осаждает ионы меди в виде сульфида:

$$H_2S + Cu(NO_3)_2 \rightarrow CuS\downarrow + 2HNO_3$$

Из условия задачи ясно, что гидрид лития вступил в реакцию не полностью, так как при добавлении водного раствора гидроксида бария выделился газ и образовался осадок:

$$LiH + H_2O \rightarrow LiOH + H_2\uparrow$$

$$Li_2SO_4 + Ba(OH)_2 \rightarrow BaSO_4\downarrow + 2LiOH$$

Вычислим количество вещества SO_2 по формуле

$$\nu(SO_2) = V(SO_2) : V_m;\ \nu(SO_2) = 4{,}48 : 22{,}4 = 0{,}2 \text{ моль}.$$

Далее воспользуемся стехиометрическими соотношениями веществ в протекающих реакциях и установим, что:

$$\nu(H_2S) = \nu(Li_2SO_4) = 0{,}5\nu(SO_2) = 0{,}1 \text{ моль};$$

$$\nu(CuS) = \nu(H_2S) = 0{,}1 \text{ моль};$$

$$\nu(BaSO_4) = \nu(Li_2SO_4) = 0{,}1 \text{ моль}.$$

Теперь по формуле $m = M\nu$ рассчитаем массы осадков:

$$m(CuS) = 0{,}1 \cdot 96 = 9{,}6 \text{ г};\ m(BaSO_4) = 0{,}1 \cdot 233 = 23{,}3 \text{ г}.$$

ВОПРОСЫ, УПРАЖНЕНИЯ И ЗАДАЧИ

1074. Приведите электронные конфигурации внешнего уровня щелочных и щелочно-земельных металлов.

1075. Приведите две пары ионов щелочных и щелочно-земельных металлов со сходными электронными конфигурациями внешнего уровня.

1076. Сравните физические свойства щелочных и щелочно-земельных металлов.

1077. Что общего в химических свойствах щелочных и щелочно-земельных металлов? Чем они отличаются друг от друга?

1078. На каком свойстве щелочных металлов основано их применение в фотоэлементах?

1079. Какой тип гибридизации характерен для атома бериллия в молекуле фторида бериллия?

1080. Объясните, почему молекула фторида бериллия имеет линейное строение, а молекула хлорида бора — угловое.

1081. Какой из металлов IA- и IIA-групп наиболее распространен: а) в земной коре; б) в воде Мирового океана; в) в биомассе?

1082. Приведите наиболее распространенные в природе соединения натрия, калия, магния и кальция.

1083. Объясните, почему гидроксид магния является боле слабым основанием по сравнению с гидроксидом натрия.

1084. Объясните, почему щелочные и щелочно-земельные металлы хранят под слоем керосина.

1085. Приведите уравнения реакций горения в кислороде лития и натрия.

1086. Каким способом получают в промышленности щелочные и щелочно-земельные металлы? Поясните.

1087. На какой реакции основано использование пероксида натрия для регенерации кислорода в закрытых системах?

1088. Какие соединения обусловливают временную жесткость воды? Как устраняется временная жесткость?

1089. Какие соединения обусловливают постоянную жесткость воды? Как устраняется временная жесткость?

1090. На чем основано применение гипса в медицине? Приведите уравнения реакций.

1091. Гидроксид натрия используется для осушения газов. Какие из перечисленных ниже газов можно сушить над гидроксидом натрия, а какие — нельзя: этан, этилен, хлор, хлороводород, сероводород, оксид серы (IV), оксид углерода (II), углекислый газ, аммиак, азот, оксид азота (I)? Поясните и при необходимости приведите уравнения реакций.

1092. Напишите уравнения реакций горения: гидрида натрия в хлоре; гидрида кальция в кислороде.

1093. При взаимодействии гидрида лития с азотом образуются два нитрида. Напишите уравнение протекающей реакции. Назовите окислитель и восстановитель.

1094. При прокаливании железа с гидроксидом натрия в отсутствие воздуха образуются оксид железа (II) и два простых вещества. Составьте уравнение протекающей реакции, найдите окислитель и восстановитель. Объясните, почему протекает эта реакция.

1095. При прокаливании соли с простым веществом в отсутствие воздуха образуются два вещества: натрий и угарный газ. Какие вещества вступили в реакцию? Составьте уравнение протекающей реакции, найдите окислитель и восстановитель.

1096. При горении магния на воздухе образуется порошок белого цвета, содержащий два вещества. Что будет наблюдаться при действии воды на этот порошок? Напишите уравнения реакций.

1097. Калий можно получить по реакции

$$KCl + Na \rightleftarrows NaCl + K$$

Объясните, почему этот процесс проводят при температуре 800 °С.

1098. Укажите, какие из нижеперечисленных соединений подвергаются гидролизу: бромид кальция, гидрид кальция, нитрат кальция, нитрид кальция, сульфид кальция, сульфит кальция, карбид кальция, карбонат кальция, хлорид кальция, гипохлорит кальция, фосфат кальция, фосфид кальция. Напишите уравнения реакций (для ионного гидролиза в ионном виде, для ковалентного — в молекулярном виде).

1099. Раствор карбоната калия разделили на две части. К одной из них добавили небольшую массу гидрокарбоната натрия; другую нагрели. Как изменится полнота протекания реакции гидролиза в каждом случае?

1100. Напишите уравнения реакций, иллюстрирующих схему: бромид калия → калий → гидрид калия → гидроксид калия → гидрокарбонат калия → карбонат калия → сульфат калия → бромид калия.

1101. Напишите уравнения реакций, иллюстрирующих схему: сульфид бария→хлорид бария→нитрат бария→оксид бария→гидроксид бария→гидросульфид бария→ацетат бария→сульфит бария→иодид бария→бромид бария→сульфат бария.

1102. Напишите уравнения в соответствии со схемой: нитрид магния → сульфат магния → нитрат магния → оксид магния → хлорид магния.

1103. В четырех пробирках находятся следующие соединения кальция: оксид, гидроксид, карбонат, сульфат. Как можно распознать, где какое вещество находится?

1104. Как можно установить в сульфате бария примесь: а) сульфита бария; б) сульфата аммония?

1105. На загрязненный примесями сульфат бария подействовали соляной кислотой. Выделившийся в результате реакции газ пропустили сначала через подкисленный раствор перманганата калия, а затем — через избыток известковой воды. В первом случае фиолетовая окраска раствора исчезла, во втором случае наблюдалось помутнение раствора. Какие примеси (ионы) могли содержаться в исследуемом образце?

1106. Имеются хлорид аммония, карбонат калия, карбонат кальция и гидросульфат калия. Как, не используя других реак-

тивов, кроме воды, идентифицировать вещества? Напишите уравнения реакций.

1107. Имея в распоряжении только один из хлоридов щелочного металла и воду, получите хлороводородную кислоту (2 способа) и щелочь (выбор процессов не ограничен).

1108. Как из одной из нерастворимых солей кальция с помощью воды и поваренной соли можно получить: а) хлорид кальция; б) гидроксид кальция?

1109. Составьте уравнения в соответствии со схемой:

$$Na_2O \rightarrow ? \rightarrow Na_2SO_4 \rightarrow ? \rightarrow NaNO_3$$

1110. Составьте уравнения в соответствии со схемой:

$$\text{Натрий} \xrightarrow{+O_2} \ldots \xrightarrow{+CO_2} \ldots \xrightarrow{+SO_2} \ldots \xrightarrow{+CaCl_2} \ldots$$

1111. Составьте уравнения в соответствии со схемой:

$$\text{Мел} \xrightarrow{t} \ldots \xrightarrow{+H_2O} \ldots \xrightarrow{+Na_2SO_3} \ldots \xrightarrow{+CH_3COOH} \ldots$$

1112. Составьте уравнения в соответствии со схемой:

$$Mg \xrightarrow{CO_2} X_1 \xrightarrow{HNO_3} X_2 \xrightarrow{Ba(OH)_2} X_3 \xrightarrow{t} X_4 \xrightarrow{K} X_5 \xrightarrow{N_2} X_6 \longrightarrow X_3$$

1113. Напишите уравнения реакций:

а) $KClO_3 + C \xrightarrow{t} X + \ldots$

б) $X + Mg \xrightarrow{t} \ldots$

1114. Из сульфата натрия, не прибегая к окислительно-восстановительным реакциям и не используя других соединений натрия, получите сульфид натрия. Напишите уравнения реакций.

1115. Как можно из доломита $MgCO_3 \cdot CaCO_3$ получить в чистом виде гексагидрат нитрата магния?

1116. Из карбида кальция и воды, используя хлор, получите гидрид кальция.

1117. Из нитрида магния и воды получите нитрат магния.

1118. Имея в распоряжении только воду, карбонат бария и хлорид аммония, получите 18 различных неорганических соединений в чистом виде (выбор процессов не ограничен).

1119. Имея в распоряжении только воду, мел и поваренную соль, получите не менее 10 различных неорганических соединений в чистом виде (выбор процессов не ограничен).

1120. Имея в распоряжении только хлорид магния, карбонат магния и воду, получите 10 различных неорганических веществ в чистом виде (выбор процессов не ограничен).

1121. Имеются оксид азота (II) и пероксид водорода. Добавьте к этим веществам по своему выбору соединение бария, не имеющее в составе азота, и получите нитрит бария. Выбор катализаторов не ограничен.

1122. Используя только одно углеродсодержащее соединение, получите три разных неорганических вещества, содержащих углерод и кальций одновременно.

1123. Имеются вода и гидрид калия. Выберите только один оксид и только одну кислоту и получите с использованием четырех веществ, а также продуктов их взаимодействия (без электролиза) следующие вещества: водород, нитрат калия, гидроксид калия, гидрокарбонат калия и карбонат калия.

1124. Имеются вода и гидрид кальция. Выберите только одну соль и одну кислоту и получите с использованием четырех веществ, а также продуктов их взаимодействия, не прибегая к электролизу, следующие вещества: хлорид кальция, хлорид железа (III), оксид железа (III), водород, нитрат кальция.

1125. Гидроксид натрия может получиться в результате: а) окисления вещества X; б) реакции обмена с участием вещества Y. Напишите уравнения обеих реакций (один из возможных вариантов ответа).

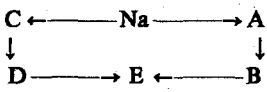
1126. В результате двух последовательных окислительно-восстановительных реакций был получен гидроксид бария. Напишите уравнения реакций (один из возможных вариантов без использования электролиза).

1127. В результате двух последовательных окислительно-восстановительных реакций был получен карбонат натрия. Напишите уравнения реакций (один из возможных вариантов без использования электролиза).

1128. В результате двух последовательных окислительно-восстановительных реакций был получен нитрид лития. Напишите уравнения реакций (один из возможных вариантов без использования электролиза).

1129. В результате двух последовательных окислительно-восстановительных реакций был получен карбид кальция. Напишите уравнения реакций (один из возможных вариантов без использования электролиза).

1130. Составьте уравнения в соответствии со схемой:



С изменением степени окисления протекают только две реакции. Вещества A, B, C, D, E содержат натрий и хорошо растворимы в воде.

1131. Напишите уравнения реакций, соответствующие схеме:

$$\text{Оксид магния} \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow \text{Оксид магния}$$

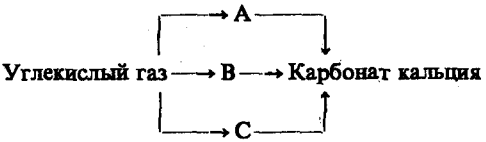
A, C, E — растворимые соединения магния; B и D — нерастворимые соединения магния.

1132. Напишите уравнения в соответствии со схемой:

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow \text{Гидрид кальция} \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow F$$

A — белое вещество, не растворимое в воде, но растворимое в кислотах; F — газ тяжелее воздуха; вещества, зашифрованные буквами, не повторяются, в схеме должны быть три окислительно-восстановительные реакции.

1133. Составьте уравнения в соответствии со схемой:



A, B, C — растворимые соли калия и натрия.

1134. Напишите уравнения реакций, иллюстрирующих схему:

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow F \rightarrow G \rightarrow H \rightarrow K \rightarrow L \rightarrow M$$

A и B — соли магния; D и E — соли бария; G и H — соли натрия; L и M — соли калия.

1135. Вычислите массу жженого гипса, которую можно получить при прокаливании 5,16 кг природного гипса, содержащего 15,0% примесей.

1136. Кислород, выделившийся при прокаливании 8,50 г нитрата натрия, смешали с водородом, выделившимся при взаимодействии натрия с водой. Образовавшуюся газовую смесь подожгли, по окончании реакции выяснилось, что объем неизрасходованного кислорода составил 110 мл (н. у.). Вычислите массу натрия, вступившего в реакцию.

1137. Смешали 20,0 г 6,30%-го раствора гидрокарбоната натрия и 50,0 г 3,42%-го раствора гидроксида бария. Какие вещества будут находиться в растворе? Вычислите их массу.

1138. Имеется смесь кальция, оксида кальция и карбида кальция с молярным соотношением компонентов 1 : 3 : 4 (в порядке перечисления). Какой объем воды может вступить в химическое взаимодействие с такой смесью массой 35,0 г?

1139. К 50,0 г смеси, содержащей оксид магния (массовая доля 20,0%), оксид цинка (массовая доля 30,0%) и оксид бария, прибавили 800 мл 12,0%-го раствора серной кислоты (пл. 1,08

г/мл). Вычислите количество вещества воды в растворе по окончании реакции.

1140. Вычислите количество вещества калия и массу воды, необходимые для приготовления 150 г 15,0%-го раствора щелочи.

1141. Какую массу лития нужно растворить в 0,100 л воды для получения раствора с массовой долей щелочи, равной 0,100?

1142. Растворимость гидроксида лития в 100 г воды при 20 °С равна 12,3 г. Какую массу лития следует добавить к раствору, полученному смешением 9,00 г оксида лития с 250 г 3,00%-го раствора гидроксида лития для получения насыщенного раствора?

1143. Растворимость гидроксида лития в 100 г воды при 30 °С равна 12,7 г. К раствору, полученному смешением 12,0 г оксида лития с 200 г 1,50%-го раствора гидроксида лития, добавили 2,1 г лития. Вычислите массу образовавшегося осадка.

1144. Чему была равна массовая доля калия в его смеси с литием, если в результате обработки этой смеси избытком хлора образовалась смесь, в которой массовая доля хлорида калия составила 80,0%?

1145. Вычислите, во сколько раз масса смеси продуктов, образующихся при окислении избытком кислорода смеси натрия и лития, будет больше массы исходной смеси для двух случаев: а) в исходной смеси равны массы металлов; б) в исходной смеси равны количества веществ.

1146. Гидрид щелочного металла массой 0,800 г поместили в 50,0 мл раствора гидрокарбоната того же металла с концентрацией 0,400 моль/л. По окончании реакции выяснилось, что в растворе находится только одна соль. Какая эта соль? Вычислите ее массу.

1147. Какую массу гидрида натрия добавили к 120 г 16,2%-го раствора бромоводородной кислоты, если по окончании реакции массовые доли соли и щелочи в получившемся растворе сравнялись?

1148. К 150 г соляной кислоты добавили 2,10 г гидрида кальция. По окончании реакции масса щелочи оказалась в 2,10 раза больше массы соли. Вычислите массовую долю хлороводорода в исходной соляной кислоте.

1149. Эквимолярную смесь пероксида натрия и карбоната натрия общей массой 46,0 г в течение некоторого времени выдержали в атмосфере углекислого газа, в результате чего массовая доля пероксида натрия оказалась равной 25,0%. Вычислите объем образовавшегося кислорода (н. у.).

1150. Пероксид натрия массой 1,56 г растворили в воде, объем полученного раствора оказался равным 50,0 мл. К этому раствору добавили последовательно 250 мл раствора гидросуль-

фата натрия с концентрацией 0,160 моль/л и 200 мл раствора сульфита натрия. В полученном растворе концентрация сульфита натрия оказалась равной 0,150 моль/л. Вычислите молярную концентрацию исходного раствора сульфита натрия.

1151. Смесь оксида натрия и пероксида натрия массой 1,09 г обработали на холоду избытком серной кислоты. Получившийся раствор обесцветил 40,0 мл раствора перманганата калия с концентрацией 0,100 моль/л. Вычислите массовые доли веществ в исходной смеси.

1152. Через нагретую трубку, заполненную оксидом натрия массой 31,0 г, пропустили 13,0 л смеси углекислого газа с парами воды (объем измерен при нормальном давлении и 404 К). Объемная доля паров воды в этой смеси составляла 25,0%. Вычислите массовые доли веществ в оставшейся в трубке смеси.

1153. Водород, полученный при обработке медно-алюминиевого сплава избытком соляной кислоты, пропустили через трубку с натрием при 300 °С. Масса трубки увеличилась на 0,500 г. Анализ содержимого трубки показал, что массовая доля натрия в полученной смеси составляет 60,0%. Вычислите массу натрия, первоначально находившегося в трубке.

1154. К смеси оксида натрия и пероксида натрия общей массой 5,44 г (оксида по массе в 1,325 раза больше, чем пероксида) добавили сначала разбавленный раствор серной кислоты, затем — избыток перманганата калия. По окончании реакции объем раствора оказался равным 200 мл, а концентрация ионов водорода в нем равна 0,200 моль/л. Какое количество вещества серной кислоты было добавлено?

1155. Барий массой 8,22 г окислили в атмосфере азота. Полученное вещество обработали 10,0%-м раствором карбоната калия. Раствор отделили от осадка и прокипятили, в нем оказалось только одно вещество. Вычислите объем добавленного раствора карбоната калия (пл. 1,09 г/мл).

1156. После обработки избытком брома смеси калия и магния общей массой 10,2 г масса полученной смеси твердых веществ оказалась равной 42,2 г. Эту смесь обработали избытком раствора гидроксида натрия, после чего осадок отделили и прокалили до постоянной массы. Вычислите массу полученного при этом остатка.

1157. Смесь лития и натрия общей массой 7,60 г окислили избытком кислорода, всего было израсходовано 3,92 л (н. у.). Полученную смесь растворили в 80 г 24,5%-го раствора серной кислоты. Вычислите массовые доли веществ в образовавшемся растворе.

1158. Смесь сульфида бария и сульфида магния, в которой число атомов бария равно числу атомов магния, растворили

в воде и обработали точно рассчитанной (без избытка) массой хлора, при этом образовалось 233 мг осадка. Какое количество вещества карбоната калия следует добавить к надосадочной жидкости, чтобы образовалась максимальная масса осадка?

1159. Смесь гидрида кальция и сульфида кальция общей массой 18,6 г обработали избытком воды, при этом выделилось 4,48 л (н. у.) газа. К полученной смеси добавили небольшими порциями 300 мл соляной кислоты с концентрацией хлороводорода 1,60 моль/л. Вычислите объем газа, выделившегося во втором случае.

1160. Щелочно-земельный металл массой 500 мг обработали избытком брома. Образовавшееся вещество растворили в воде, масса раствора оказалась равной 150 г. Порцию этого раствора массой 3,00 г обработали избытком нитрата серебра, масса образовавшегося осадка составила 94 мг. Установите, какие ионы находятся в надосадочной жидкости.

1161. Смесь натрия и лития обработали хлором. Полученную смесь веществ растворили в воде, при этом выделилось 560 мл (н.у.) газа. Суммарная молярная концентрация ионов натрия и хлора в образовавшемся растворе оказалась равной суммарной молярной концентрации ионов лития и гидроксид-ионов. Вычислите массу натрия в исходной смеси.

1162. Смесь натрия с другим щелочным металлом поместили в воду. По окончании реакции воду полностью испарили. Массовая доля кислорода в полученной смеси веществ оказалась равной 50,0%. Вычислите массовые доли веществ в полученной смеси.

1163. К 2,52 г сульфита щелочного металла, находящегося в водном растворе, добавили 1,335 г хлорида алюминия, при этом образовалось 0,780 г осадка. После полного удаления газа к раствору добавляли по каплям раствор перманганата калия с концентрацией соли 0,333 моль/л. До окончания реакции всего было добавлено 10,0 мл раствора. Какой металл входил в состав сульфита?

1164. Через нагретую трубку, заполненную смесью оксида натрия и пероксида натрия, пропустили 13,2 л углекислого газа; масса трубки увеличилась на 41,7%. Вышедшую из трубки смесь газов собрали; ее средняя молярная масса составила 36 г/моль. Затем через охлажденную трубку пропустили 19,8 л смеси углекислого газа и паров воды со средней молярной массой 26,67 г/моль. Содержимое трубки растворили в воде. Какую массу гидрида натрия следует добавить к полученному раствору, чтобы массовые доли солей стали равными? Молярный объем газов в условиях эксперимента равен 22,0 л/моль.

2.9. АЛЮМИНИЙ И ЕГО СОЕДИНЕНИЯ

Алюминий — элемент IIIA-группы второго периода периодической системы. Электронная конфигурация атома ns^2np^1; алюминий относится к блоку *p*-элементов. Алюминий имеет в соединениях постоянную степень окисления (+3). Алюминий — серебристо-белый металл, легкий и прочный. Температура плавления 660 °С, температура кипения 2500 °С плотность 2,7 г/см^3.

Алюминий весьма активный металл с выраженными восстановительными способностями, однако при обычных условиях он достаточно инертен, так как покрыт защитной пленкой оксида Al_2O_3. После снятия оксидной пленки (механически или амальгамированием) алюминий реагирует с водой:

$$2Al + 6H_2O \rightarrow 2Al(OH)_3\downarrow + 3H_2\uparrow$$

Алюминий окисляется многими неметаллами, образуя галогениды, оксид, нитрид, сульфид, карбид (многие реакции приводились в предыдущих разделах). Алюминий вытесняет все металлы, кроме металлов IA- и IIA-групп, из водных растворов солей, например:

$$2Al + 3CuSO_4 \rightarrow 3Cu\downarrow + Al_2(SO_4)_3$$

Для алюминия и его соединений характерны амфотерные свойства. Он окисляется растворами щелочей:

$$2Al + 2NaOH + 6H_2O \rightarrow 2Na[Al(OH)_4] + 3H_2\uparrow$$

При нагревании алюминий растворяется даже в растворах солей, дающих сильнощелочную реакцию среды вследствие гидролиза (фосфатов и карбонатов щелочных металлов).

Алюминий пассивируется на холоду концентрированной серной кислотой, концентрированной и разбавленной азотной кислотой.

Оксид алюминия — амфотерный оксид, образующий соли как в катионной форме Al^{3+}, так и в анионной форме — AlO_2^- (алюминаты; при сплавлении) или $[Al(OH)_4]^-$ (тетрагидроксоалюминаты, в растворах). Из-за химической инертности оксид алюминия не реагирует с разбавленными растворами кислот и щелочей, однако медленно растворяется в концентрированных растворах при нагревании, например:

$$Al_2O_3 + 6HCl \rightarrow 2AlCl_3 + 3H_2O$$

$$Al_2O_3 + 2NaOH + 3H_2O \rightarrow 2Na[Al(OH)_4]$$

Алюминаты образуются при сплавлении оксида алюминия с оксидами, гидроксидами и карбонатами металлов IA- и IIA-групп, например:

$$Al_2O_3 + CaO \rightarrow Ca(AlO_2)_2$$

$$Al_2O_3 + 2NaOH \rightarrow 2NaAlO_2 + H_2O$$

$$Al_2O_3 + K_2CO_3 \rightarrow 2KAlO_2 + CO_2\uparrow$$

Основание, соответствующее оксиду алюминия, — *гидроксид алюминия* $Al(OH)_3$. Это нерастворимое в воде вещество белого цвета; слабое основание с амфотерными свойствами. Гидроксид алюминия хорошо растворяется как в кислотах, так и в водных растворах оснований, например:

$$Al(OH)_3 + NaOH \rightarrow Na[Al(OH)_4]$$

$$Al(OH)_3 + 3HNO_3 \rightarrow Al(NO_3)_3 + 3H_2O$$

Гидроксид алюминия при нагревании разлагается, образуя сначала метагидроксид, а затем — оксид:

$$Al(OH)_3 \xrightarrow{\sim 200\ ^\circ C} AlO(OH) + H_2O$$

$$2AlO(OH) \xrightarrow{< 500\ ^\circ C} Al_2O_3 + H_2O$$

Растворимые соли алюминия гидролизуются по катиону (кислая реакция среды). Сульфид алюминия гидролизуется полностью, карбонат и сульфит не существуют.

Пример 43. К 10,0%-му раствору хлорида алюминия добавили сульфид калия. Полученный раствор отфильтровали и прокипятили без потери воды. Выяснилось, что массовая доля соли алюминия уменьшилась в два раза. Установите состав полученного раствора в массовых долях.

Решение. Между хлоридом алюминия и сульфидом калия в водном растворе протекает реакция совместного гидролиза:

$$2AlCl_3 + 3K_2S + 6H_2O \rightarrow 6KCl + 2Al(OH)_3\downarrow + 3H_2S\uparrow$$

Примем, что $m(AlCl_3,р\text{-}р) = m$, тогда $m(AlCl_3) = m(р\text{-}р)\,\omega(AlCl_3)$; $m(AlCl_3) = 0{,}1m$. Из условия задачи ясно, что сульфид калия вступил в реакцию полностью. Примем, что $\nu(K_2S) = x$ (моль) и выразим количества веществ, вступающих в реакцию и образующихся, через $\nu(K_2S)$:

$$\nu(AlCl_3)_{вст} = \nu(Al(OH)_3)_{обр} = {}^2/_3\,\nu(K_2S) = 0{,}6667x;$$

$$\nu(H_2S)_{обр} = \nu(K_2S) = x;\ \nu(KCl)_{обр} = 2\nu(K_2S) = 2x.$$

Выразим массы всех веществ по формуле $m = M\nu$;

$$m(AlCl_3)_{вст} = 133{,}5 \cdot 0{,}6667x = 89x;$$

$$m(Al(OH)_3)_{обр} = 78 \cdot 0{,}6667x = 52x;$$

$$m(H_2S)_{обр} = 34x;\ m(KCl)_{обр} = 74{,}5 \cdot 2x = 149x.$$

Выразим массу хлорида алюминия, оставшегося в растворе по окончании реакции,

$$m(AlCl_3)_{ост} = m(AlCl_3)_{исх} - m(AlCl_3)_{вст} = 0{,}1m - 0{,}89x$$

и массу раствора:

$$m(\text{р-ра})_{итог} = m(\text{р-ра})_{исх} + m(K_2S) - m(Al(OH)_3) - m(H_2S) =$$

$$m + 110x - 52x - 34x = m + 24x.$$

По условию задачи

$$\frac{m(AlCl_3)_{ост}}{m(\text{р-ра})_{итог}} = 0{,}05; \quad \frac{0{,}1m - 89x}{m + 24x} = 0{,}05, \text{ откуда } m = 1804x.$$

С учетом полученного рассчитаем массовую долю хлорида калия в растворе по формуле

$$\omega(KCl) = m(KCl) : m(\text{р-р});$$

$$\omega(KCl) = 149x : 1828x = 0{,}0824,$$

таким образом,

$$\omega(KCl) = 8{,}24\%;\ \omega(AlCl_3) = 5\%;\ \text{остальное — вода.}$$

Пример 44. К раствору тетрагидроксоалюмината калия добавляли по каплям раствор, содержащий смесь бромоводорода и иодоводорода, в которой концентрация ионов водорода равна 0,0500 моль/л. Установлено, что максимальная масса осадка образовалась при добавлении 50,0 мл раствора. Чему станет равна масса осадка, если добавить всего 120 мл раствора смеси кислот?

Решение. Сначала происходит разрушение комплексного соединения, сопровождающееся выпадением осадка, а затем растворение осадка за счет реакции нейтрализации. Запишем уравнения реакций в ионном виде:

$$K[Al(OH)_4] + H^+ \rightarrow K^+ + H_2O + Al(OH)_3\downarrow \qquad (I)$$

$$Al(OH)_3 + 3H^+ \rightarrow 3H_2O + Al^{3+} \qquad (II)$$

Вычислим количество вещества ионов водорода в растворе объемом 50 мл по формуле

$$\nu(H^+) = c(H^+)\,V(\text{р-р});\ \nu(H^+)_I = 0{,}05 \cdot 0{,}05 = 0{,}0025 \text{ моль.}$$

Из уравнения реакции (I) следует, что

$$\nu(Al(OH)_3)_{обрI} = \nu(H^+)_I = 0{,}0025 \text{ моль.}$$

Вычислим количество вещества ионов водорода в растворе объемом 120 мл по той же формуле:

$$\nu(H^+)_{II} = 0{,}05 \cdot 0{,}12 = 0{,}006 \text{ моль.}$$

Таким образом, в реакцию (II) вступит ионов водорода

$$\nu(H^+)_{II} = 0{,}006 - 0{,}0025 = 0{,}0035 \text{ моль.}$$

В соответствии с уравнением реакции (II):

$$\nu(Al(OH)_3)_{встII} = {}^1/_3\nu(H^+)_{II} = 0{,}3333 \cdot 0{,}0035 = 0{,}001167 \text{ моль.}$$

Рассчитаем массу оставшегося гидроксида алюминия:

$$m(Al(OH)_3) = M(Al(OH)_3)[\nu(Al(OH)_3)_{обрI} - \nu(Al(OH)_3)_{встII}];$$

$$m(Al(OH)_3) = 78(0{,}0025 - 0{,}001167) = 0{,}104 \text{ г.}$$

Пример 45. При действии гидроксидом натрия на 40,8 г галогенида алюминия, находящегося в водном растворе, одинаковая масса осадка образуется как при добавлении 4,00 г, так и 14,67 г щелочи. Какой галоген входил в состав соли?

Решение. При взаимодействии щелочей с солями алюминия сначала образуется гидроксид алюминия, который затем при дальнейшем добавлении щелочи растворяется с образованием тетрагидроксоалюмината.

Обозначим неизвестный галоген как Hal и запишем уравнения реакций:

$$AlHal_3 + 3NaOH \rightarrow 3NaHal + Al(OH)_3\downarrow \quad (I)$$

$$Al(OH)_3 + NaOH \rightarrow Na[Al(OH)_4] \quad (II)$$

Пусть $M(Hal) = x$ (г/моль). Выразим количество вещества галогенида алюминия по формуле

$$\nu(X) = m(X) : M(X);\ \nu(AlHal_3) = 40{,}8 : (27 + 3x).$$

При неполном осаждении Al^{3+} в недостатке будет щелочь. Рассчитаем количество вещества NaOH по той же формуле: $\nu(NaOH) = 4 : 40 = 0{,}1$ моль. В соответствии с уравнением реакции (I)

$$\nu(Al(OH)_3) = {}^1/_3\nu(NaOH) = 0{,}3333 \cdot 0{,}1 = 0{,}03333 \text{ моль.}$$

Такое же количество вещества осадка образуется при полном осаждении ионов алюминия и последующем частичном растворении осадка.

Для полного осаждения Al^{3+} требуется

$$\nu(NaOH) = 3\nu(AlHal_3) = 3 \cdot 40{,}8 : (27 + 3x).$$

Выразим количество вещества гидроксида алюминия, которое должно вступить в реакцию (II):

$$\nu(Al(OH)_3) = 40{,}8 : (27 + 3x) - 0{,}03333;$$

таким же должно быть и количество вещества NaOH.

Таким образом, всего щелочи для полного осаждения Al^{3+} и частичного растворения осадка требуется

$$\nu(NaOH)_I + \nu(NaOH)_{II} = 3 \cdot 40{,}8 : (27 + 3x) + 40{,}8 : (27 + 3x) - 0{,}03333.$$

Рассчитаем количество вещества щелочи, соответствующее 14,67 г:

$$\nu(NaOH) = 14{,}67 : 40 = 0{,}3668 \text{ моль.}$$

Составим уравнение:

$$3 \cdot 40{,}8 : (27 + 3x) + 40{,}8 : (27 + 3x) - 0{,}03333 = 0{,}3668, \text{ откуда } x = 127.$$

Следовательно, в состав соли входил иод.

ВОПРОСЫ, УПРАЖНЕНИЯ И ЗАДАЧИ

1165. Приведите электронную конфигурацию атома алюминия. Поясните, почему алюминий в соединениях имеет степень окисления +3.

1166. Сравните между собой восстанавливающую способность натрия, магния и алюминия; алюминия, галлия и индия.

1167. Какие металлы вытесняют алюминий из его солей, а какие он вытесняет сам? Приведите примеры реакций.

1168. Покажите отношение алюминия к воде, кислотам и щелочам. Напишите уравнения необходимых реакций и поясните.

1169. Как можно с поверхности алюминия удалить оксидную пленку?

1170. Докажите, что оксид и гидроксид алюминия имеют амфотерный характер.

1171. Приведите две реакции образования оксида алюминия: окислительно-восстановительную и протекающую без изменения степеней окисления.

1172. Составьте уравнение реакции, в которой алюминий восстанавливает ионы водорода.

1173. Приведите уравнение реакции получения хлорида алюминия по реакции обмена; по реакции замещения.

1174. Какую реакцию среды — кислую, нейтральную или щелочную — имеют растворы нитрата, сульфата и хлорида алюминия? Почему?

1175. При смешении раствора соли алюминия с раствором другой соли произошло одновременное выпадение осадка и выделение газа. Приведите три примера подобных реакций.

1176. Приведите два уравнения реакции получения нитрида алюминия: при взаимодействии алюминия с простым веществом и со сложным.

1177. В виде каких соединений в основном встречается в природе алюминий?

1178. Как получают алюминий в промышленности?

1179. Кратко охарактеризуйте применение алюминия.

1180. Напишите уравнения реакций, иллюстрирующих схему: тетрагидроксоалюминат натрия → гидроксид алюминия → сульфат алюминия → нитрат алюминия → оксид алюминия → алюминат натрия.

1181. Даны следующие вещества: хлорид железа (II), сульфат алюминия, магний, нитрат магния, алюминий, медь. Напишите уравнения всех окислительно-восстановительных реакций, протекающих попарно между предложенными веществами в водной среде.

1182. Напишите уравнения реакций, протекающих при прокаливании: а) нитрата алюминия с гидрокарбонатом калия; б)

оксида алюминия с карбонатом кальция; в) алюминия с нитратом аммония; г) сульфида алюминия с бертолетовой солью.

1183. Напишите уравнения реакций, протекающих при взаимодействии избытка сильнощелочного раствора хлората калия: а) с магнием; б) с алюминием. Укажите общее в этих реакциях и черты различия.

1184. Напишите ионные уравнения реакции взаимодействия алюминия с нитрат-ионом: а) в кислой среде (при нагревании); б) в щелочном растворе (щелочь в избытке).

1185. Напишите уравнения реакций:

а) $NH_3 + Al \xrightarrow{t} X + ...$

б) $X + Br_2 \rightarrow ...$

1186. Напишите уравнения реакций:

а) $HCl\ (разб) + Al_4C_3 \rightarrow X + ...$

б) $X + H_2O \xrightarrow{1500\ ^\circ C} ...$

1187. Напишите уравнения реакций:

а) $H_2S + SO_2 \rightarrow X + ...$

б) $X + Al \xrightarrow{t} ...$

1188. Напишите уравнения реакций, протекающих в водной среде:

а) $Al + NaOH\ (конц,\ избыток) \rightarrow X + ...$

б) $X + HNO_3 \rightarrow ...$

1189. В три пробирки, в каждой из которых находился твердый сульфид алюминия, добавили избыток растворов: а) хлороводорода; б) гидроксида бария; в) хлорида натрия. В каких случаях будет протекать реакция? Напишите уравнения реакций и при необходимости поясните.

1190. В три пробирки, в каждой из которых находился твердый сульфид алюминия, добавили избыток растворов: а) серной кислоты (разбавленной); б) нитрата меди; в) сульфата калия. В каких случаях будет протекать реакция? Напишите уравнения реакций и при необходимости поясните.

1191. Используя воду, хлорид алюминия, аммиак и серную кислоту, получите в чистом виде сульфат алюминия (не прибегая к электролизу).

1192. Из карбида алюминия и воды, используя аммиак, получите нитрид алюминия.

1193. Из гидрида натрия и гидроксида алюминия получите алюминат натрия.

1194. Из гидрида натрия и кристаллогидрата сульфата алюминия (кристаллизуется с 18 молекулами воды) получите в водном растворе алюминат натрия.

1195. Имея водный раствор сульфата алюминия, получите два нерастворимых вещества и два газа (все четыре соединения должны относиться к разным классам). В качестве реактивов можно использовать только соли.

1196. Имеются вода и карбид алюминия. Выберите только одно основание и одну кислоту и получите с использованием четырех веществ, а также продуктов их взаимодействия следующие вещества: нитрат алюминия, нитрат бария, карбонат бария, гидрокарбонат бария, алюминат бария.

1197. Нитрат алюминия вступает в реакцию, в ходе которой получается вещество X, содержащее азот в степени окисления +4. В ходе другой реакции с участием нитрата алюминия образуется вещество Y, содержащее азот в степени окисления +5. Напишите уравнения обеих реакций (один из возможных вариантов ответа).

1198. В результате двух последовательных окислительно-восстановительных реакций был получен сульфид алюминия. Напишите уравнения реакций (один из возможных вариантов без использования электролиза).

1199. Составьте уравнения по схеме:

$$AlCl_3 \rightarrow X \rightarrow Y$$

X, Y — сложные вещества, содержащие алюминий; в первой реакции одним из реагентов является вода; вторая — реакция разложения.

1200. Напишите уравнения реакций по схеме:

$$\text{Алюминий} + X \rightarrow A;\ A + H_2O \rightarrow D + \ldots$$

$$\text{Алюминий} + Y \rightarrow B;\ B + NaOH \rightarrow D + \ldots$$

X и Y — простые вещества, образованные элементами одного периода и соседних групп периодической системы элементов.

1201. Напишите уравнения реакций в соответствии со схемой:

$$\text{Алюминий} \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow \text{Алюминий}$$

С изменением степени окисления протекают только две реакции. A, B, C, D — хорошо растворимые в воде вещества.

1202. Какая масса гидроксида алюминия может раствориться в растворе, содержащем 2,50 г гидроксида натрия?

1203. К раствору, содержащему сульфат алюминия массой 6,84 г, прилили избыток раствора сульфида натрия. Вычислите массу выпавшего осадка.

1204. Какой объем раствора карбоната натрия ($c = 0{,}150$ моль/л) следует добавить к 25,0 мл раствора сульфата алюминия ($c = 0{,}0200$ моль/л) для полного осаждения ионов алюминия?

1205. При прокаливании алюминия с перманганатом калия образовалось 17,4 г оксида марганца (IV). Вычислите массу второго продукта реакции.

1206. При взаимодействии алюминия с нитритом калия в щелочной среде выделилось 3,36 л (н. у.) бесцветного газа с резким характерным запахом. Вычислите массу вступившего в реакцию алюминия.

1207. Какое количество вещества алюминия вступило в реакцию с аммиаком при нагревании, если суммарная масса продуктов реакции равна 4,40 г?

1208. Массовая доля алюминия в его сплаве с магнием равна 0,700. Какую массу сплава обработали концентрированным раствором щелочи, если при этом выделилось 20,0 мл водорода (н. у.)?

1209. Какую массу гидрида кальция можно получить из водорода, образующегося при взаимодействии алюминия массой 18,9 г с избытком концентрированного раствора щелочи?

1210. Какую минимальную массу 50,0%-го раствора гидроксида натрия надо добавить к 6,84 г сульфата алюминия, чтобы первоначально выпавший осадок полностью растворился?

1211. Смесь натрия и алюминия общей массой 15,0 г, в которой массовая доля алюминия равна 20,0%, поместили в 150 мл воды. Вычислите массовые доли веществ в растворе после окончания реакции.

1212. Разбавленным раствором серной кислоты обработали смесь алюминия и карбоната бария. Объем выделившейся смеси газов оказался равным 15,68 л (н. у.). После сжигания газа в избытке кислорода и конденсации паров воды получили 4,48 л смеси газов с плотностью по водороду 19,0. Вычислите массовую долю соли в исходной смеси.

1213. Водород, полученный при действии алюминия на концентрированный раствор гидроксида калия, пропустили через трубку с нагретым оксидом меди (II). После обработки полученной в трубке смеси избытком соляной кислоты были получены раствор хлорида меди (II) и нерастворившийся остаток массой 9,60 г. Вычислите, какая масса алюминия растворилась в щелочи.

1214. Сплав алюминия с серебром обработали избытком концентрированного раствора азотной кислоты, остаток растворили в уксусной кислоте. Объемы газов, выделившихся в обеих реакци-

ях и измеренные при одинаковых условиях, оказались равными между собой. Вычислите массовые доли металлов в сплаве.

1215. В смеси оксида ванадия (V) и оксида ванадия (III) массовая доля кислорода равна 40,0%. Какое количество вещества алюминия понадобится для полного восстановления ванадия из 100 г этой смеси?

1216. Смесь алюминия и углерода массой 1,68 г сильно нагрели. Образовавшийся твердый остаток обработали избытком соляной кислоты. Вычислите объем выделившегося при этом газа (н. у.), если известно, что масса нерастворившегося остатка составила 0,240 г.

1217. Смесь оксида алюминия и гидросульфата калия общей массой 10,0 г сильно нагрели. К полученному остатку добавили 100 г воды, масса нерастворившегося остатка составила 1,00 г. Вычислите массовые доли веществ в получившемся растворе.

1218. Вещества, находящиеся в 65,52 г смеси алюминия и оксида железа (II, III), прореагировали нацело. Какое количество вещества алюмината калия можно получить, сплавляя полученную смесь с 32,2 г гидроксида калия?

1219. Для восстановления 30,4 г оксида, в котором степень окисления металла равна +3, взяли точно необходимое (без избытка) количество вещества алюминия. После нагревания получили 41,2 г смеси. Вычислите массовую долю металла в полученной смеси.

1220. К раствору, содержащему 30,0 ммоль нитрата алюминия, добавили концентрированный раствор гидроксида натрия. Количество вещества гидроксида алюминия оказалось при этом равным 25,0 ммоль. Какое количество вещества щелочи было прибавлено?

1221. К 66,75 г 20,0%-го раствора хлорида алюминия добавили 28,0 мл раствора гидроксида натрия с концентрацией 12,5 моль/л. Вычислите массу образовавшегося осадка.

1222. К 50,0 мл раствора нитрата алюминия с концентрацией 0,200 моль/л (пл. 1,03 г/мл) добавили 6,84 г гидроксида бария. Вычислите массу раствора после окончания реакции.

1223. До прекращения выпадения осадка из раствора объемом 10,0 мл, содержащего смесь соляной кислоты и хлорида алюминия, пришлось добавить 3,57 мл раствора аммиака с концентрацией 7,00 моль/л. Раствор выпарили, а остаток прокалили до постоянной массы, которая оказалась равной 255 мг. Вычислите молярные концентрации веществ в исходном растворе.

1224. К 5,00%-й соляной кислоте добавили сульфид алюминия, масса которого составила 1/10 от массы соляной кислоты. Вычислите массовую долю хлорида алюминия в образовавшемся растворе.

1225. При обработке некоторой порции сульфида алюминия избытком водного раствора NaCl выделилось 2,24 л газа (н. у.). Вычислите массу осадка, который образуется при обработке такой же порции сульфида алюминия 50,0 мл раствора нитрата меди ($c = 2{,}50$ моль/л).

1226. Для полного растворения смеси хлорида алюминия и карбида алюминия понадобилось 240 г 40,0%-го раствора гидроксида натрия; при этом выделилось 6,72 л газа (н. у.) газа. Вычислите число атомов хлора в исходной смеси.

1227. При обработке смеси сульфата алюминия и сульфида алюминия избытком водного раствора хлорида бария масса выделившегося газа оказалась в 2,90 раза меньше массы выпавшего осадка. Вычислите массовые доли веществ в исходной смеси.

1228. Молярное соотношение сульфата алюминия и гидроксида натрия в смеси равно 1 : 7, а общее число атомов равно $6{,}02 \cdot 10^{23}$. К этой смеси добавили 20 мл воды и энергично перемешали, часть смеси при этом не растворилась. Вычислите массу надосадочной жидкости.

1229. Через раствор, полученный смешением 80,0 мл раствора хлорида алюминия ($c = 0{,}900$ моль/л) и 16,0 мл раствора NaOH ($c = 18{,}0$ моль/л), пропустили 1,12 л (н. у.) смеси бромоводорода с водородом, имеющую плотность по гелию 4,45. Вычислите массу образовавшегося осадка.

1230. Через раствор, полученный смешением 160 мл раствора хлорида алюминия ($c = 0{,}450$ моль/л) и 32,0 мл раствора NaOH ($c = 9{,}00$ моль/л), пропустили 11,2 л смеси бромоводорода с водородом, имеющую плотность 0,795 г/л (н. у.). Вычислите массу образовавшегося осадка.

1231. К 30,0 мл раствора $Na[Al(OH)_4]$ с концентрацией 40,0 ммоль/л добавляли по каплям раствор, содержащий смесь азотной и серной кислот. Установлено, что максимальная масса осадка образовалась при добавлении 4,00 мл раствора. Чему станет равна масса осадка, если всего добавить 10,0 мл раствора смеси кислот?

1232. К 20,0 мл раствора $K[Al(OH)_4]$ с концентрацией 0,250 моль/л добавили 5,00 мл раствора азотной кислоты с концентрацией 5,00 моль/л. Вычислите молярную концентрацию ионов водорода в получившемся растворе.

1233. Смешали равные массы 10,0%-х растворов хлорида алюминия и гидроксида натрия. Образовавшийся осадок отделили и прокалили, масса остатка оказалась равной 10,0 г. Какие вещества находятся в растворе, отделенном от осадка, и чему равны их массы?

1234. Смесь алюминия и серы массой 37,5 г полностью прореагировала. К продукту реакции добавили концентрированный раствор гидроксида натрия, в результате чего получился новый раствор объемом 500 мл, в котором концентрация гидроксид-ионов равна 2,00 моль/л. Вычислите молярную концентрацию в этом растворе ионов натрия.

1235. Смесь алюминия и магния обработали хлором. Полученную смесь веществ растворили в 130 мл раствора хлороводорода с концентрацией 5 моль/л, при этом выделилось 3,92 л (н. у.) газа. В образовавшемся растворе суммарное количество вещества ионов алюминия и магния равно количеству вещества ионов водорода. Вычислите область допустимых значений массы исходной смеси металлов.

1236. Смесь сульфата меди (II) и сульфата алюминия, в которой число атомов кислорода равно числу Авогадро, а число атомов меди составляет 25,0% от числа атомов серы, растворили в воде. К полученному раствору добавили избыток раствора гидроксида калия. Вычислите массу выпавшего осадка.

1237. Смесь гидроксида алюминия и гидрокарбоната натрия общей массой 81,0 г, в которой содержится равное число атомов алюминия и натрия, нагрели в закрытом сосуде объемом 10,0 л. Какое давление установится в этом сосуде после его охлаждения до 800 °С? Объемом твердых веществ, находящихся в сосуде, следует пренебречь.

1238. Смесь гидроксида алюминия и гидрокарбоната калия, в которой массовые доли веществ равны, нагрели в закрытом сосуде объемом 20,0 л. Давление 101 кПа установилось в этом сосуде после его охлаждения до 500 °С. Вычислите количества твердых веществ, находящихся в сосуде (их объемом следует пренебречь).

1239. При действии на 267 г галогенида алюминия, находящегося в водном растворе, одинаковая масса осадка образуется как при добавлении 112 г, так и 186,7 г гидроксида калия. Какой галоген входил в состав соли?

1240. Алюминий полностью растворили в кипящем насыщенном растворе фосфата натрия, при этом выделилось 1,344 л водорода (н. у.). Полученный раствор после охлаждения обработали бромоводородной кислотой, в результате чего в полученном растворе масса бромид-ионов превысила массу ионов алюминия в 30 раз, а масса бромоводорода составила 8,1 г. Остаток, образовавшийся после осторожного удаления воды (условно считать, что гидролиз не протекает), обработали при нагревании олеумом, в котором молярное соотношение компонентов равно 1:1. Масса олеума была на 13,95% меньше массы остатка. Вычислите объем выделившегося оксида серы (н. у.).

1241. Уголь сожгли в избытке кислорода, полученную смесь газов, в которой объемная доля кислорода равна 60%, поместили в закрытый сосуд, содержащий пероксид натрия. По окончании реакции давление в сосуде упало на 10%. Твердое вещество извлекли из сосуда и прокалили с оксидом алюминия, в результате чего получили 15 г смеси веществ, в которой содержалось $1{,}338 \cdot 10^{23}$ атомов алюминия. Вычислите массу угля, которую сожгли.

2.10. ХРОМ И ЕГО СОЕДИНЕНИЯ

Хром — *d*-элемент, находящийся в VIB-группе четвертого периода периодической системы. Его электронная конфигурация $3d^5 4s^1$. Хром в соединениях существует преимущественно в степенях окисления +3 и +6. Менее устойчивыми являются соединения хрома +2.

Хром — металл серого цвета, твердый и тугоплавкий (температура плавления 1890 °С, температура кипения 2680 °С, плотность 7,19 г/см^3).

При высоких температурах хром окисляется водой, галогенами (со фтором образует CrF_4, с хлором $CrCl_3$), кислородом (до Cr_2O_3), серой (смесь Cr_2S_3 и CrS), азотом (до CrN). Хром образует три оксида: CrO, Cr_2O_3 и CrO_3. Оксид хрома (II) CrO — основный оксид, его гидроксид $Cr(OH)_2$ обладает свойствами слабого основания. Оксид хрома (III) Cr_2O_3 — амфотерный оксид, его гидроксид $Cr(OH)_3$ обладает амфотерными свойствами. Оксид хрома (VI) — кислотный оксид, соответствующий ему гидроксид является кислотой.

Хром находится в ряду стандартных электродных потенциалов левее водорода и поэтому способен вытеснять водород из хлороводорода и серной кислоты в разбавленных растворах:

$$Cr + 2HCl \rightarrow CrCl_2 + H_2\uparrow$$

Однако в водных растворах соли хрома (II) постепенно окисляются до солей хрома (III) водой и кислородом:

$$2CrCl_2 + 2H_2O \rightarrow 2CrCl_2OH + H_2\uparrow$$

$$4CrCl_2 + O_2 + 2H_2O \rightarrow 4CrCl_2OH$$

Концентрированными H_2SO_4 и HNO_3 при нагревании (для снятия пассивирования) хром окисляется до солей Cr (III).

Оксид хрома (III) — весьма инертное вещество, не реагирующее с растворами кислот и щелочей. Его амфотерные свойства выявляются только в реакциях, протекающих при сплавлении

с оксидами, гидроксидами и карбонатами щелочных и щелочно-земельных металлов. В ходе этих реакций образуются хромиты, например:

$$Cr_2O_3\,(т) + Ca(OH)_2\,(т) \xrightarrow{t} Ca(CrO_2)_2 + H_2O$$

Гидроксид хрома (III) легко растворяется в кислотах и щелочах, образуя, аналогично алюминию, комплексные соли — тетрагидроксохроматы (III), например:

$$Cr(OH)_3 + KOH \rightarrow K[Cr(OH)_4]$$

Соединения хрома (III) окисляются до соединений Cr (VI) преимущественно в щелочной среде, например:

$$2K[Cr(OH)_4] + 3Br_2 + 8KOH \rightarrow 2K_2CrO_4 + 6KBr + 8H_2O$$

$$2CrCl_3 + 3H_2O_2 + 10KOH \rightarrow 2K_2CrO_4 + 6KCl + 8H_2O$$

$$Cr_2(SO_4)_3 + 2KMnO_4 + 3H_2O \rightarrow K_2Cr_2O_7 + 2MnO_2\downarrow + 3H_2SO_4$$

Оксид хрома (VI) реагирует с водой с образованием сильной хромовой кислоты:

$$CrO_3 + H_2O \rightarrow H_2CrO_4 \rightarrow H^+ + HCrO_4^-$$

Хромовая кислота — сильная по I ступени и слабая по II ступени. Хромовая кислота в свободном виде не выделена, существует только в водном растворе. В концентрированных растворах хромовой кислоты образуются полихромовые кислоты: $H_2Cr_2O_7$, $H_2Cr_3O_{10}$ и $H_2Cr_4O_{13}$. Хроматы щелочных металлов и аммония хорошо растворимы в воде, остальные хроматы практически не растворимы в воде. Соли дихромовой кислоты — дихроматы — практически все растворимы в воде. Хроматы устойчивы в щелочном растворе, дихроматы — в нейтральном и кислом. Между хромат- и дихромат-ионами существуют переходы:

$$2CrO_4^{2-} + 2H^+ \rightarrow Cr_2O_7^{2-} + H_2O$$

$$Cr_2O_7^{2-} + 2OH^- \rightarrow 2CrO_4^{2-} + 2H_2O$$

Соединения хрома (VI) восстанавливаются до соединений Cr (III) преимущественно в кислой среде, например:

$$K_2Cr_2O_7 + 6KCl + 7H_2SO_4 \rightarrow 3Cl_2\uparrow + Cr_2(SO_4)_3 + 4K_2SO_4 + 7H_2O$$

$$K_2Cr_2O_7 + 3SO_2 + H_2SO_4 \rightarrow Cr_2(SO_4)_3 + K_2SO_4 + H_2O$$

Хроматы — термически устойчивые соединения. *Дихроматы* при нагревании разлагаются, например:

$$4K_2Cr_2O_7 \xrightarrow{\sim 600\ ^\circ C} 4K_2CrO_4 + 2Cr_2O_3 + 3O_2$$

$$(NH_4)_2Cr_2O_7 \xrightarrow{\sim 180\ ^\circ C} Cr_2O_3 + N_2 + 4H_2O$$

Многие соединения хрома окрашены: CrO — черный; Cr_2O_3 — темно-зеленый; CrO_3 — красный; $Cr(OH)_2$ — желтый; $Cr(OH)_3$ — серо-зеленый; хроматы — желтые; дихроматы — оранжевые; соли хрома (III) окрашены в разные цвета: $Cr_2(SO_4)_3$ — розовый, а его кристаллогидраты могут быть фиолетового и зеленого цвета.

Пример 46. Для окисления 3,12 г гидросульфита, образованного металлом, имеющим в соединениях постоянную степень окисления (+1), потребовалось добавить 50,0 мл раствора, в котором молярные концентрации дихромата натрия и серной кислоты равны 0,200 и 0,500 моль/л, соответственно. Установите состав и вычислите массу остатка, который получится при выпаривании раствора после реакции.

Решение. Обозначим неизвестный металл (Me). Запишем уравнение протекающей реакции:

$$6MeHSO_3 + 2Na_2Cr_2O_7 + 5H_2SO_4 \rightarrow 3Me_2SO_4 + 2Na_2SO_4 + 2Cr_2(SO_4)_3 + 8H_2O$$

Рассчитаем количества веществ дихромата натрия и серной кислоты по формуле

$$\nu = cV;\ \nu(Na_2Cr_2O_7) = 0{,}2 \cdot 0{,}05 = 0{,}01 \text{ моль};$$

$$\nu(H_2SO_4) = 0{,}5 \cdot 0{,}05 = 0{,}025 \text{ моль}.$$

Отношение количеств веществ $Na_2Cr_2O_7$ и H_2SO_4 соответствует стехиометрическому. В соответствии с уравнением реакции

$$\nu(MeHSO_3) = 3\nu(Na_2Cr_2O_7) = 3 \cdot 0{,}01 = 0{,}03 \text{ моль}.$$

Вычислим молярную массу неизвестного гидросульфита:

$$M(MeHSO_3) = m(MeHSO_3) : \nu(MeHSO_3);$$

$$M(MeHSO_3) = 3{,}12 : 0{,}03 = 104 \text{ г/моль}.$$

Теперь можно рассчитать молярную массу металла:

$$M(Me) = M(MeHSO_3) - M(HSO_3) = 104 - 81 = 23 \text{ г/моль},$$

т. е. это натрий.

Таким образом, в результате реакции образуются Na_2SO_4 и $Cr_2(SO_4)_3$. По уравнению реакции

$$\nu(Na_2SO_4) = {}^5/_2\nu(Na_2Cr_2O_7) = 2{,}5 \cdot 0{,}01 = 0{,}025 \text{ моль};$$

$$\nu(Cr_2(SO_4)_3) = \nu(Na_2Cr_2O_7) = 0{,}01 \text{ моль}.$$

Вычислим массы этих солей по формуле

$$m = M\nu;\ m(Na_2SO_4) = 142 \cdot 0{,}025 = 3{,}55 \text{ г};\ m(Cr_2(SO_4)_3) = 392 \cdot 0{,}01 = 3{,}92 \text{ г}.$$

Масса остатка

$$m(Na_2SO_4)+m(Cr_2(SO_4)_3)=3{,}55+3{,}92=7{,}47\text{ г.}$$

Пример 47. Вычислите объем раствора гидроксида натрия с концентрацией 5,00 моль/л (пл. 1,185 г/мл), который добавили к 68,0 мл 24,0%-го раствора бромида хрома (III) (пл. 1,253 г/мл), если масса осадка оказалась равной 5,15 г, а масса надосадочной жидкости больше 120 г.

Решение. Рассчитаем массу раствора $CrBr_3$ *по формуле*

$$m=V\rho;\ m(CrBr_3,\text{р-р})=68\cdot 1{,}253=85{,}20\text{ г.}$$

Теперь найдем количество вещества $CrBr_3$ в этом растворе:

$$\nu(CrBr_3)=\frac{m(\text{р-р})\,\omega(CrBr_3)}{M(CrBr_3)};\ \nu(CrBr_3)=\frac{85{,}20\cdot 0{,}24}{292}=0{,}07\text{ моль.}$$

Рассчитаем также количество вещества образовавшегося гидроксида хрома (III):

$$\nu(Cr(OH)_3)=m(Cr(OH)_3):M(Cr(OH)_3);$$

$$\nu(Cr(OH)_3)=5{,}15:103=0{,}05\text{ моль.}$$

Следовательно, $\nu(Cr(OH)_3)<\nu(CrBr_3)$. Это возможно в двух случаях: а) неполного осаждения ионов Cr^{3+} по уравнению

$$CrBr_3+3NaOH\rightarrow Cr(OH)_3\downarrow+3NaBr \qquad (I)$$

б) частичного растворения выпавшего осадка $Cr(OH)_3$ по уравнению

$$Cr(OH)_3+NaOH\rightarrow Na[Cr(OH)_4] \qquad (II)$$

Рассмотрим первый случай. В соответствии с уравнением реакции (I)

$$\nu(NaOH)=3\nu(Cr(OH)_3)=3\cdot 0{,}05=0{,}15\text{ моль.}$$

Рассчитаем объем добавленного раствора NaOH

$$V(NaOH,\text{р-р})=\nu(NaOH):c(NaOH);$$

$$V(NaOH,\text{р-р})=0{,}15:5=0{,}03\text{ л}=30\text{ мл,}$$

а затем и массу этого раствора по формуле

$$m=V\rho;\ m=30\cdot 1{,}185=35{,}55\text{ г.}$$

Вычислим массу надосадочной жидкости m_1 для первого случая:

$$m_1=m(CrBr_3,\text{р-р})+m(NaOH,\text{р-р})-m(Cr(OH)_3)=85{,}20+35{,}55-5{,}15=115{,}6\text{ г.}$$

Масса надосадочной жидкости получилась меньше, чем указано в условии задачи (больше 120 г). Следовательно, был реализован второй случай. Подтвердим это расчетами.

По реакции (I) для полного осаждения $Cr(OH)_3$ требуется NaOH:

$$\nu(NaOH)=3\nu(CrBr_3)=3\cdot 0{,}07=0{,}21\text{ моль,}$$

а по реакции (II) для частичного растворения осадка

$$\nu(NaOH) = \nu(Cr(OH)_3) = 0{,}07 - 0{,}05 = 0{,}02 \text{ моль}.$$

Таким образом, суммарное количество вещества щелочи равно:

$$\nu(NaOH) = 0{,}21 + 0{,}02 = 0{,}23 \text{ моль}.$$

Расчет массы этого раствора проводим аналогично тому, как это было сделано для первого случая:

$$V(NaOH,р\text{-}р) = 0{,}23 : 5 = 0{,}046 \text{ л} = 46 \text{ мл};$$

$$m(NaOH,р\text{-}р) = 46 \cdot 1{,}185 = 54{,}51 \text{ г}.$$

Тогда масса надосадочной жидкости m_2 будет больше 120 г:

$$m_2 = 85{,}20 + 54{,}51 - 5{,}15 = 135 \text{ г}.$$

Следовательно, добавили 46,0 мл раствора щелочи.

ВОПРОСЫ, УПРАЖНЕНИЯ И ЗАДАЧИ

1242. Приведите электронную конфигурацию атома хрома, ионов Cr^{2+} и Cr^{3+}.

1243. Как изменяются кислотно-основные свойства оксидов хрома с увеличением степени окисления хрома?

1244. Объясните, почему хром является одним из самых коррозионно-стойких металлов.

1245. Напишите уравнение реакции в ионной форме, протекающей при взаимодействии бромида калия с дихроматом калия в подкисленном растворе.

1246. Напишите уравнение реакции, протекающей при взаимодействии хромата калия в сильнощелочном растворе с сульфидом калия (сера окисляется до элементной).

1247. Хлорид хрома (II) можно получить, нагревая хлорид хрома (III) в токе водорода. Составьте уравнение протекающей реакции.

1248. Составьте уравнение реакции, протекающей между ацетатом хрома (II) и хлором в щелочном растворе.

1249. Осуществите цепочку превращений: хром → хлорид хрома (III) → гидроксид хрома (III) → сульфат хрома (III) → нитрат хрома (III) → оксид хрома (III) → хромит калия.

1250. Осуществите цепочку превращений: хлорид хрома (III) → нитрат хрома (III) → хромат калия → дихромат калия → сульфат хрома (III) → бромид хрома (III).

1251. Составьте уравнения по схеме:

$$X \rightarrow Cr_2(SO_4)_3 \rightarrow Y$$

X, Y — сложные вещества, содержащие хром; первая реакция — окислительно-восстановительная, вторая — реакция обмена.

1252. Напишите уравнения реакций:

а) HCl (конц) $+ K_2Cr_2O_7 \rightarrow X + ...$

б) $X + KOH$ (избыток водного раствора) $\rightarrow ...$

1253. Напишите уравнения реакций:

а) $H_2S + K_2Cr_2O_7$ (кислая среда) $\rightarrow X + ...$

б) $X + NaOH$ (водный раствор, избыток) $\rightarrow ...$

1254. Напишите уравнения реакций:

а) $CrSO_4 + K_2Cr_2O_7$ (кислая среда) $\rightarrow X + ...$

б) $X + Na_2SO_3$ (водный раствор) $\rightarrow ...$

1255. Напишите уравнения реакций:

а) $CrCl_2 + H_2O_2$ (щелочная среда) $\rightarrow X + ...$

б) $X + H_2SO_4$ (водный раствор) $\rightarrow ...$

1256. Среди перечисленных веществ: карбонат натрия, аммиак, сульфат хрома (III), бромид калия выберите то, которое не будет вступать в реакции в водном растворе с остальными веществами. Из числа оставшихся выберите то, которое будет реагировать с двумя другими. Напишите уравнения реакций.

1257. Напишите уравнения реакций взаимодействия сульфата хрома (III): а) с бромом в щелочной среде; б) с перманганатом калия в нейтральной среде. Укажите общее в этих реакциях и черты различия.

1258. Напишите уравнения реакций, протекающих при совместном нагревании нитрата хрома (III): а) с нитратом железа (III); б) с нитратом железа (II), принимая во внимание, что в обоих случаях твердый остаток представляет собой индивидуальное вещество. Укажите общее в этих реакциях и черты различия.

1259. Напишите уравнения реакций, протекающих между дихроматом калия и: а) серой (при нагревании); б) гидросульфидом натрия в кислой среде. Укажите общее в этих реакциях и черты различия.

1260. Напишите уравнения реакций, протекающих при нагревании между графитом (в избытке) и: а) дихроматом калия; б) фосфатом алюминия. Укажите общее в этих реакциях и черты различия.

1261. Используя сульфат хрома (III), аммиак, хлороводород и воду, получите в чистом виде хлорид хрома (III) (не прибегая к электролизу).

1262. Используя нитрат железа (III), воду и гидроксид хрома (III), получите в чистом виде нитрат хрома (III) (не прибегая к электролизу).

1263. Из гидрида кальция и гидроксида хрома (III) получите соль, содержащую одновременно хром и кальций.

1264. Имеются вода и сульфат хрома (III). Выберите только одно основание и одно простое вещество и получите с использованием четырех веществ, а также продуктов их взаимодействия, не прибегая к электролизу, следующие вещества: хромат натрия, бромид натрия, оксид хрома (III), сульфат натрия, хромит натрия.

1265. Имеются вода и хлорид хрома (III). Выберите только одно основание и одно простое вещество и получите с использованием четырех веществ, а также продуктов их взаимодействия, не прибегая к электролизу, следующие вещества: гидроксид хрома (III), хромит калия, хромат калия, хлорид калия, хлорат калия.

1266. Имеются вода и сульфат хрома (III). Выберите только один металл и одну соль и получите с использованием четырех веществ, а также продуктов их взаимодействия (без электролиза) следующие вещества: гидроксид хрома (III), карбонат магния, углекислый газ, хромит натрия, сульфат натрия.

1267. Имеются вода и сульфат хрома (III). Выберите только одно основание и одну соль и получите с использованием четырех веществ, а также продуктов их взаимодействия (без электролиза) следующие вещества: гидроксид хрома (III), хромит калия, сульфат калия, нитрат калия и нитрат хрома (III).

1268. Имеются гидроксид калия и вода. Выберите только одно простое вещество и одну соль и получите с использованием четырех веществ, а также продуктов их взаимодействия (без электролиза) следующие вещества: сульфат калия, хромат калия, оксид хрома (III), хлорид хрома (III), кислород.

1269. Имея водный раствор хлорида хрома (III), получите два нерастворимых вещества и два газа (все четыре соединения должны относиться к разным классам). В качестве реактивов можно использовать только соли.

1270. В результате восстановления дихромата калия образуется вещество X, которое в обменной реакции с солью Y образует одновременно газообразное и не растворимое в воде соединения. Напишите уравнения обеих реакций (один из возможных вариантов ответа).

1271. Дихромат калия в водном растворе вступает в две реакции с разными веществами, не содержащими в своем составе атомов хрома. В ходе одной из них получается вещество X, содержащее хром в степени окисления +6; в ходе другой — ве-

щество Y, содержащее хром в степени окисления +3. Напишите уравнения обеих реакций (один из возможных вариантов ответа).

1272. Сульфат хрома (III) в водном растворе вступает в две реакции с разными веществами, не содержащими в своем составе атомов хрома. В ходе одной из них получается вещество X, содержащее хром в степени окисления +6; в ходе другой — вещество Y, содержащее хром в степени окисления +3. Напишите уравнения обеих реакций (один из возможных вариантов ответа).

1273. В результате двух последовательных окислительно-восстановительных реакций был получен хромат калия. Напишите уравнения реакций (один из возможных вариантов без использования электролиза).

1274. Из раствора, содержащего тетрагидроксоалюминат натрия и тетрагидроксохромат натрия, получите в чистом виде гидроксид хрома (III) и гидроксид алюминия.

1275. Исходя только из простых веществ и используя только окислительно-восстановительные реакции, получите: а) хромат натрия; б) нитрат хрома (III).

1276. Определите, какое вещество вступило в реакцию

$$?+4H_2SO_4 \rightarrow Cr_2(SO_4)_3+SO_2\uparrow+4HCl+2H_2O$$

Составьте электронный баланс и напишите уравнение в полном виде.

1277. Определите, какое вещество вступило в реакцию

$$?+30HNO_3 \rightarrow 2Cr(NO_3)_3+3H_2SO_4+24NO_2\uparrow+12H_2O$$

Составьте электронный баланс и напишите уравнение в полном виде.

1278. Составьте уравнения реакций по схеме

$$K_2CrO_4 \xrightarrow{+H_2SO_4} \ldots \xrightarrow{+SO_2(H^+)} \ldots \xrightarrow{+K_2CO_3} \ldots \xrightarrow{+HCl} \ldots$$

1279. Напишите уравнения реакций по схеме

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E$$

Все вещества в схеме — растворимые соли хрома; все реакции окислительно-восстановительные.

1280. Составьте уравнения реакций по схеме:

$$Cr \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow F \rightarrow Cr$$

Вещества в схеме содержат хром и растворяются в воде.

1281. К 3,92 г сульфата хрома (III) добавили 2,00 г гидроксида калия. Какую массу гидроксида калия надо еще добавить, чтобы получить прозрачный раствор?

1282. Смешали 78,4 г 5,00%-го раствора сульфата хрома (III), 16,2 г 10,0%-го раствора дихромата натрия и 24,0 мл раствора гидроксида натрия с концентрацией 5,00 моль/л. Вычислите количества веществ, находящихся в растворе.

1283. К 1,03 г гидроксида хрома (III) добавили разбавленный водный раствор хромата натрия, в результате чего в полученной смеси на пять атомов хрома стало приходиться шесть атомов натрия. Смесь обработали 5,00 мл раствора серной кислоты ($c = 6{,}00$ моль/л). Вычислите количества веществ, находящихся в растворе.

1284. Какую массу дихромата калия нужно обработать избытком концентрированной соляной кислоты, чтобы из выделившегося в результате реакции хлора получить с 85,0%-м выходом 100 г хлорной извести?

1285. Смесь дихромата калия и дихромата аммония, в которой число атомов хрома в три раза меньше числа Авогадро, обработали избытком концентрированной соляной кислоты. Вычислите объем выделившегося при этом газа (101 кПа, 25 °С).

1286. Какой минимальный объем раствора гидроксида натрия с концентрацией 15,5 моль/л необходимо добавить к 50,0 мл раствора сульфата хрома (III) ($c = 1{,}20$ моль/л) для получения 2,06 г осадка? Какой объем того же раствора щелочи можно добавить к полученному осадку с надосадочной жидкостью, чтобы масса осадка не изменилась?

1287. Какой объем раствора KOH с концентрацией 5,60 моль/л потребуется для полного растворения смеси гидроксида хрома (III) и гидроксида алюминия общей массой 5,00 г? Массовая доля кислорода в исходной смеси равна 50,0%.

1288. Осадок, образовавшийся после пропускания сероводорода через избыток подкисленного раствора дихромата калия, отфильтровали и обработали 0,500 мл 98,0%-го раствора серной кислоты (пл. 1,84 г/мл) при нагревании. Массовая доля кислоты по окончании реакции снизилась на 4,50%. Вычислите объем (н. у.) сероводорода, вступившего в реакцию.

1289. Прокалили раздельно порцию дихромата аммония и порцию нитрата хрома (III). По окончании реакции массы твердых остатков оказались равными. Как относились между собой массы порций исходных веществ?

1290. Через 200 мл раствора, в котором концентрация дихромата калия равна 0,100 моль/л, а серной кислоты — 0,500 моль/л, пропустили сероводород. В результате молярное соотношение кислоты и дихромата калия стало равно 15 : 1. Какая масса серы при этом образовалась?

1291. Смесь дихромата аммония и гидросульфата аммония в молярном соотношении 1 : 2 растворили в воде, объем получен-

ного раствора оказался равным 200 мл, а концентрация дихромат-иона в нем 0,200 моль/л. Через полученный раствор пропустили газ, образовавшийся при обработке 26,04 г сульфита бария избытком соляной кислоты. Вычислите массы веществ в полученном растворе.

1292. К 12,0%-му раствору хлорида хрома (III) добавили карбонат аммония. Полученный раствор отфильтровали и прокипятили (без потери воды). Выяснилось, что массовая доля соли хрома уменьшилась в 1,50 раза. Установите состав полученного раствора в массовых долях.

1293. К 14,0%-му раствору нитрата хрома (III) добавили сульфид натрия. Полученный раствор отфильтровали и прокипятили (без потери воды). Выяснилось, что массовая доля соли хрома уменьшилась в 1,40 раза. Установите состав полученного раствора в массовых долях.

1294. К 15,0 мл раствора $Na[Cr(OH)_4]$ с концентрацией 60,0 ммоль/л добавляли по каплям раствор, содержащий смесь азотной и соляной кислот. Установлено, что максимальная масса осадка образовалась при добавлении 6,00 мл раствора. Чему станет равна масса осадка, если добавить еще 6,00 мл раствора смеси кислот?

1295. Вычислите массовую долю соли в растворе, полученном растворением избытка сульфида хрома (III) в 25,0%-м растворе серной кислоты.

1296. Вычислите массовую долю соли в растворе, полученном растворением избытка гидроксида хрома (III) в водном растворе, в котором массовые доли серной кислоты и сульфата хрома (III) равны по 5,00%.

1297. Вычислите массовую долю соли в растворе, полученном растворением избытка гидроксида хрома (III) в водном растворе, в котором массовые доли хлороводорода и хлорида хрома (III) равны по 8,00%.

1298. Для окисления 6,24 г сульфита, образованного металлом, имеющим в соединениях постоянную степень окисления (+2), потребовалось добавить 50,0 мл раствора, в котором молярные концентрации дихромата калия и серной кислоты равны 0,400 и 1,60 моль/л соответственно. Установите состав и вычислите массу остатка, который получится при выпаривании раствора после реакции.

1299. К 85,0 мл раствора $Na[Cr(OH)_4]$ с концентрацией 0,0200 моль/л добавляли по каплям раствор H_2SO_4. Максимальная масса осадка образовалась после добавления 17,0 мл раствора. Вычислите молярные концентрации веществ в растворе, который получится после добавления еще 55,0 мл того же раствора кислоты.

1300. К 15,0 мл раствора $K[Cr(OH)_4]$ с концентрацией 0,600 моль/л добавили 50,0 мл раствора бромоводородной кислоты с концентрацией 1,20 моль/л. Вычислите молярную концентрацию ионов водорода в получившемся растворе.

1301. К смеси гексагидрата хлорида хрома (III) и гидроксида хрома (III) общей массой 10,0 г, в которой массовые доли веществ равны, добавили 14,3 мл раствора гидроксида калия с концентрацией 5,60 моль/л (пл. 1,24 г/мл). Вычислите массу образовавшегося раствора и массу осадка.

1302. При действии гидроксидом натрия на 146 г галогенида хрома (III), находящегося в водном растворе, одинаковая масса осадка образуется как при добавлении 20,0 г, так и 73,33 г щелочи. Какой галоген входил в состав соли?

1303. К 42,0 г 7,00%-го раствора дихромата калия добавили некоторую массу гидросульфата калия. Через полученный раствор пропускали оксид серы (IV) до тех пор, пока массовая доля его в полученном растворе не стала равной 2,00%. Количество вещества гидросульфат-ионов в этом растворе составило 5 ммоль. Какую массу 8,09%-го раствора аммиака надо прибавить к полученному раствору, чтобы его массовая доля в надосадочной жидкости стала равна 1,00%?

1304. Оксид углерода (II) сожгли в избытке кислорода. Полученную смесь, в которой объемные доли газов оказались равными, поместили в закрытый сосуд, содержащий пероксид натрия. По окончании реакции массовые доли газов сравнялись. Твердое вещество извлекли из сосуда и прокалили с оксидом хрома, в результате чего получили смесь веществ, содержащую $9{,}03 \cdot 10^{22}$ атомов, масса хрома в которой составила 2,6 г. Вычислите исходную массу оксида углерода (II).

2.11. ЖЕЛЕЗО И ЕГО СОЕДИНЕНИЯ

Железо — *d*-элемент, находящийся в VIIIB-группе четвертого периода периодической системы. Его электронная конфигурация $3d^64s^2$. Железо в соединениях существует преимущественно в степенях окисления +2 и +3. Максимальная степень окисления +8 отвечает неустойчивому оксиду FeO_4.

Железо — серебристо-белый металл, твердый и тугоплавкий (температура плавления 1539 °С, температура кипения 2872 °С, плотность 7,91 г/см^3).

Железо реагирует со многими неметаллами: галогенами (с фтором, хлором и бромом, образуя $FeHal_3$, с иодом — FeI_2), кислородом (Fe_3O_4), серой (FeS), фосфором (смесь фосфидов). Железо окисляется водой (при температуре около 800 °С) и разбавленными кислотами:

$$3Fe + 4H_2O \rightarrow Fe_3O_4 + 4H_2$$

$$Fe + 2HCl \rightarrow FeCl_2 + H_2\uparrow$$

$$Fe + H_2SO_4 \rightarrow FeSO_4 + H_2\uparrow$$

В реакции с разбавленной азотной кислотой железо окисляется до $Fe(NO_3)_3$; при этом выделяется смесь продуктов восстановления (NO_2, NO, N_2O, N_2, NH_4NO_3). В очень разбавленной азотной кислоте окисление железа может остановиться на стадии образования $Fe(NO_3)_2$.

Концентрированными растворами H_2SO_4 и HNO_3 железо пассивируется, но реагирует с ними при нагревании, например:

$$Fe + 6HNO_3 \xrightarrow{t} Fe(NO_3)_3 + 3NO_2\uparrow + 3H_2O$$

Во влажном воздухе железо постепенно окисляется (ржавеет). Этот процесс можно передать условно уравнением:

$$4Fe + 6H_2O + 3O_2 \rightarrow 4Fe(OH)_3$$

На самом деле образуется смесь различных веществ, среди которых в основном метагидроксид железа FeO(OH) и оксид железа (II, III) Fe_3O_4.

Железо образует несколько *оксидов*. Оксид FeO обладает только основными свойствами, его *гидроксид* $Fe(OH)_2$ — слабое, нерастворимое в воде основание. Оксид Fe_2O_3 имеет слабоамфотерные свойства. Он не взаимодействует с растворами щелочей, но может образовывать при сплавлении ферриты, например:

$$Fe_2O_3 + Na_2CO_3 \rightarrow 2NaFeO_2 + CO_2$$

Гидроксид $Fe(OH)_3$, соответствующий оксиду Fe_2O_3,— еще более слабое основание, чем $Fe(OH)_2$. Амфотерные свойства $Fe(OH)_3$ выражены слабо, полностью растворить его не удается даже в концентрированном растворе щелочи (гидроксокомплексы, аналогичные таковым алюминия и хрома, образуются только в качестве примеси). Оксид железа (II, III) можно рассматривать и как двойной оксид, и как соль $Fe(FeO_2)_2$, т. е. феррит железа (II).

Соединения железа (II) достаточно легко окисляются кислородом воздуха до соединений железа (III). В кислой среде этот процесс протекает медленнее, чем в щелочной:

$$4Fe(OH)_2 + 2H_2O + O_2 \rightarrow 4Fe(OH)_3$$

В присутствии сильных окислителей этот процесс протекает очень быстро, например:

$$2FeSO_4 + H_2O_2 + H_2SO_4 \rightarrow Fe_2(SO_4)_3 + 2H_2O$$

Качественной реакцией на соли Fe^{2+} является взаимодействие с гексацианоферратом (III) калия, приводящее к появлению синего окрашивания:

$$Fe^{2+} + K_3[Fe(CN)_6] \rightarrow KFe[Fe(CN)_6] + 2K^+$$

Соединения железа (III) более устойчивы. Их восстановление проводят с помощью достаточно сильных восстановителей. Например:

$$Fe_2(SO_4)_3 + SO_2 + 2H_2O \rightarrow 2FeSO_4 + 2H_2SO_4$$

$$2FeCl_3 + Cu \rightarrow CuCl_2 + 2FeCl_2$$

$$2FeCl_3 + Fe \rightarrow 3FeCl_2$$

$$2FeCl_3 + H_2S \rightarrow S\downarrow + 2FeCl_2 + 2HCl$$

Для обнаружения солей Fe^{3+} используют реакцию с гексацианоферратом (II) калия, в ходе которой образуется то же соединение, имеющее синее окрашивание, что и в качественной реакции на соли Fe^{2+}:

$$Fe^{3+} + K_4[Fe(CN)_6] \rightarrow KFe[Fe(CN)_6] + 3K^+$$

Многие соединения железа окрашены: FeO, FeS и Fe_3O_4 — черные; Fe_2O_3 и FeO(OH) — красно-коричневые; FeS_2 — желтый; Fe_3C — серый; безводные соли железа (II) часто белые, а их кристаллогидраты — зеленые разных оттенков; $FeCl_3$ — коричневый. Соли $Fe_2(SO_4)_3$ и $Fe(NO_3)_3$, а также гидроксид $Fe(OH)_2$ — белые.

Пример 48. К раствору, содержащему 66,4 г смеси сульфата хрома (III) и одного из сульфатов железа, добавляли постепенно насыщенный раствор гидроксида калия. Максимальная масса осадка оказалась равной 35,4 г. При добавлении избытка щелочи масса осадка уменьшилась до 4,50 г и перестала изменяться при добавлении еще большего избытка. Установите, какой сульфат железа находился в исходной смеси.

Решение. Представим формулу неизвестного сульфата железа $Fe(SO_4)_n$, в случае $FeSO_4$ $n = 1$, в случае $Fe_2(SO_4)_3$ $n = 1{,}5$. Ионы хрома и железа осаждаются щелочью в виде гидроксидов:

$$Cr_2(SO_4)_3 + 6KOH \rightarrow 2Cr(OH)_3\downarrow + 3K_2SO_4 \quad (I)$$

$$Fe(SO_4)_n + 2nKOH \rightarrow Fe(OH)_{2n}\downarrow + nK_2SO_4 \quad (II)$$

Гидроксид хрома (III) имеет ярко выраженные амфотерные свойства и растворяется в избытке щелочи:

$$Cr(OH)_3 + KOH \rightarrow K[Cr(OH)_4] \qquad (III)$$

Гидроксиды железа в щелочи не растворяются.

Масса первоначально образовавшегося гидроксида хрома (III) представляет собой разность между максимальной массой осадка и массой осадка, оставшегося после обработки избытком щелочи, т. е.

$$m(Cr(OH)_3) = 35{,}4 - 4{,}5 = 30{,}9 \text{ г}.$$

Количество вещества $Cr(OH)_3$ рассчитаем по формуле

$$\nu(Cr(OH)_3) = m(Cr(OH)_3) : M(Cr(OH)_3);$$

$$\nu(Cr(OH)_3) = 30{,}9 : 103 = 0{,}3 \text{ моль}.$$

По уравнению реакции (I)

$$\nu(Cr_2(SO_4)_3) = 0{,}5\nu(Cr(OH)_3) = 0{,}5 \cdot 0{,}3 = 0{,}15 \text{ моль}.$$

Масса соли хрома в исходной смеси составит

$$m(Cr_2(SO_4)_3) = M(Cr_2(SO_4)_3)\,\nu(Cr_2(SO_4)_3);$$

$$m(Cr_2(SO_4)_3) = 392 \cdot 0{,}15 = 58{,}8 \text{ г}.$$

Масса сульфата железа равна разности между массой смеси и массой сульфата хрома, т. е.

$$m(Fe(SO_4)_n) = 66{,}4 - 58{,}8 = 7{,}6 \text{ г}.$$

По уравнению реакции (II) $\nu(Fe(SO_4)_n) = \nu(Fe(OH)_{2n})$.

Выразим количества веществ сульфата и гидроксида железа через n по формуле

$$\nu(X) = m(X) : M(X);$$

$$\nu(Fe(SO_4)_n) = 7{,}6 : (56 + 96n);$$

$$\nu(Fe(OH)_{2n}) = 4{,}5 : (56 + 17 \cdot 2n).$$

Составим уравнение:

$$\frac{7{,}6}{56 + 96n} = \frac{4{,}5}{56 + 17 \cdot 2n}, \text{ откуда } n = 1.$$

Таким образом, в состав смеси солей входил $FeSO_4$.

Пример 49. К раствору сульфата железа (III) добавили иодид бария, после чего выпавший осадок отфильтровали. После выпаривания раствора и высушивания остатка была получена смесь двух безводных солей железа (II) общей массой 10 г. При растворении этой смеси получили раствор, в котором массовые доли солей оказались равными. Вычислите массу добавленного иодида бария.

Решение. Возможны реакции:

$$Fe_2(SO_4)_3 + BaI_2 \rightarrow BaSO_4\downarrow + 2FeSO_4 + I_2 \qquad (I)$$

$$Fe_2(SO_4)_3 + 2BaI_2 \rightarrow 2BaSO_4\downarrow + FeSO_4 + FeI_2 + I_2 \qquad (II)$$

$$Fe_2(SO_4)_3 + 3BaI_2 \rightarrow 3BaSO_4\downarrow + 2FeI_2 + I_2 \qquad \text{(III)}$$

По условию задачи: $m(FeI_2) = m(FeSO_4) = 0{,}5 \cdot 10 = 5$ г.
Вычислим количества веществ солей:

$$\nu(FeI_2) = 5 : 310 = 0{,}01613 \text{ моль}; \ \nu(FeSO_4) = 5 : 152 = 0{,}03289 \text{ моль}.$$

Протекали реакции I и II, суммарно в них вступило ионов железа Fe^{2+}:

$$\nu(Fe^{2+})_{всего} = \nu(FeI_2) + \nu(FeSO_4) = 0{,}01613 + 0{,}03289 = 0{,}04902 \text{ моль}.$$

В окислительно-восстановительную реакцию

$$2Fe^{3+} + 2I^- \rightarrow 2Fe^{2+} + I_2$$

вступило такое же количество вещества ионов I^-, как и ионов железа Fe^{2+}:

$$\nu(I^-)_{овр} = \nu(Fe^{2+})_{всего} = 0{,}04902 \text{ моль}.$$

Вычислим суммарное количество вещества ионов I^-, вступивших в окислительно-восстановительную и обменную реакции:

$$\nu(I^-)_{всего} = \nu(I^-)_{овр} + \nu(I^-)_{обм} = \nu(I^-)_{овр} + 2\nu(FeI_2) =$$

$$= 0{,}04902 + 2 \cdot 0{,}01613 = 0{,}08128 \text{ моль}.$$

Теперь можно легко вычислить количество вещества иодида бария, затем — его массу:

$$\nu(BaI_2) = 0{,}5\nu(I^-)_{всего} = 0{,}5 \cdot 0{,}08128 = 0{,}04064 \text{ моль};$$

$$m(BaI_2) = 391 \cdot 0{,}04064 = 15{,}9 \text{ г}.$$

Пример 50. Какой объем (н. у.) оксида серы (IV) следует пропустить через 250 г 19,0%-го раствора сульфата железа (III), чтобы молярные концентрации двух ионов железа сравнялись?

Решение. Оксид серы (IV) восстанавливает ионы Fe^{3+} до ионов Fe^{2+} по уравнению:

$$2Fe^{3+} + SO_2 + 2H_2O \rightarrow 2Fe^{2+} + SO_4^{2-} + 4H^+$$

Рассчитаем количество вещества сульфата железа (III) по формуле

$$\nu(Fe_2(SO_4)_3) = \frac{m(Fe_2(SO_4)_3, р\text{-}р)\,\omega(Fe_2(SO_4)_3)}{M(Fe_2(SO_4)_3)};$$

$$\nu(Fe_2(SO_4)_3) = \frac{250 \cdot 0{,}19}{400} = 0{,}11875 \text{ моль}.$$

Вычислим количество вещества ионов Fe^{3+} в исходном растворе:

$$\nu(Fe^{3+}) = 2\nu(Fe_2(SO_4)_3) = 2 \cdot 0{,}11875 = 0{,}2375 \text{ моль}.$$

Пусть количество вещества SO_2, необходимое для выравнивания концентраций ионов железа, равно x.

В соответствии со стехиометрическими соотношениями

$$\nu(Fe^{3+})_{вст} = \nu(Fe^{2+})_{обр} = 2\nu(SO_2) = 2x.$$

Тогда

$$\nu(Fe^{3+})_{ост} = 0{,}2375 - 2x.$$

Равенство молярных концентраций ионов в одном растворе означает равенство количеств веществ этих ионов:

$$\nu(Fe^{3+})_{ост} = \nu(Fe^{2+})_{обр}.$$

На основании этого составляем уравнение

$$0{,}2375 - 2x = 2x, \text{ откуда } x = 0{,}05938.$$

Теперь можно рассчитать требуемый объем оксида серы (IV):

$$V(SO_2) = \nu(SO_2)\,V_m;\ V(SO_2) = 0{,}05938 \cdot 22{,}4 = 1{,}33 \text{ л}.$$

ВОПРОСЫ, УПРАЖНЕНИЯ И ЗАДАЧИ

1305. Приведите электронную конфигурацию атома железа, ионов Fe^{2+} и Fe^{3+}.

1306. Охарактеризуйте отношение железа к кислотам и щелочам.

1307. Какие металлы может вытеснять железо из их солей?

1308. Почему нельзя хранить соли железа (III) в оцинкованных и в медных сосудах?

1309. Какой из гидроксидов железа проявляет основные свойства в большей степени и почему?

1310. Объясните, почему соединение Fe_3O_4 называют и оксидом железа (II, III), и ферритом железа (II).

1311. Какие внешние изменения происходят при длительном хранении раствора хлорида железа (II)? Напишите уравнение реакции.

1312. Какие внешние изменения происходят при длительном кипячении раствора хлорида железа (III)? Напишите уравнение реакции.

1313. В виде какого соединения находится в основном железо в питьевой воде?

1314. Какие сплавы железа применяются в технике и быту?

1315. Какие реакции протекают при коррозии железа?

1316. В чем заключается роль железа в живых организмах?

1317. Приведите по два примера реакций, иллюстрирующих превращения: а) $Fe^{0} \rightarrow Fe^{+2}$; б) $Fe^{+2} \rightarrow Fe^{+3}$; в) $Fe^{0} \rightarrow Fe^{+3}$; г) $Fe^{+3} \rightarrow Fe^{+2}$; д) $Fe^{+2} \rightarrow Fe^{0}$.

1318. Осуществите цепочку превращений: железо → хлорид железа (II) → хлорид железа (III) → нитрат железа (III) → оксид

железа (III) → оксид железа (II) → иодид железа (II) → гидроксид железа (II).

1319. Составьте уравнения по схеме: $FeSO_4 \rightarrow X \rightarrow Y$. X, Y — сложные вещества, содержащие железо; первая реакция — окислительно-восстановительная, вторая — реакция обмена.

1320. Приведите примеры уравнений реакций в ионном виде, в ходе которых получаются ионы Fe^{2+}: а) из какого-либо соединения железа (III); б) из какого-либо соединения железа (II); в) из железа (простого вещества).

1321. Приведите примеры уравнений реакций, в ходе которых степени окисления меняют: а) только атомы железа; б) атомы всех элементов, входящих в продукты реакции, кроме атомов железа.

1322. Составьте уравнения реакций, протекающих при растворении карбида железа в разбавленной соляной кислоте и концентрированном растворе азотной кислоты. Известно, что в первом случае углерод окисляется до графита, а во втором — до углекислого газа.

1323. Напишите уравнение реакции, протекающей между дисульфидом железа (II) и концентрированной азотной кислотой.

1324. Напишите уравнение реакции, протекающей между хлоридом железа (II) и перманганатом калия в подкисленном растворе.

1325. Напишите уравнение реакции в ионной форме, протекающей при пропускании оксида азота (IV) в раствор хлорида железа (II).

1326. Напишите уравнения реакций, протекающих между газами и твердыми веществами: а) бромидом железа (II) и хлором; б) хлоридом железа (II) и бромом. Укажите общее в этих реакциях и черты различия.

1327. Напишите уравнения реакций взаимодействия дисульфида железа (II) при нагревании: а) с бертолетовой солью; б) с нитратом натрия.

1328. Напишите уравнения реакций взаимодействия в водном растворе между хлоридом железа (III) и: а) силикатом калия; б) гидрокарбонатом кальция; в) аммиаком. При необходимости поясните.

1329. Напишите уравнения реакций взаимодействия в водном растворе между хлоридом железа (III) и: а) иодидом калия; б) гидросульфитом бария. Укажите общее в этих реакциях и черты различия.

1330. Напишите уравнения реакций, протекающих при пропускании сероводорода через: а) подкисленный раствор перманганата калия; б) водный раствор хлорида железа (III). Укажите общее в этих реакциях и черты различия.

1331. Напишите уравнения реакций:

а) $H_2S + FeCl_3$ (водный раствор) $\rightarrow X + ...$

б) $X + Mg \xrightarrow{t} ...$

1332. Нитрат железа (III) прокалили, твердый остаток растворили в соляной кислоте, а к полученному раствору добавили дихромат калия. Какие ионы находятся в получившемся растворе? Напишите уравнения реакций.

1333. Напишите две реакции, в ходе которых образуются только одни и те же вещества: оксид железа (III), оксид калия и азот.

1334. Напишите два уравнения реакций, протекающих в водном растворе и в ходе которых образуются только гидроксид железа (III) и хлорид натрия.

1335. Напишите уравнение реакции, в ходе которой образуются только сульфат железа (II) и серная кислота.

1336. Напишите уравнение реакции, протекающей при взаимодействии двух веществ (в отсутствие воды), в ходе которой происходит изменение степеней окисления:

$$\overset{+3}{Fe} \rightarrow \overset{0}{Fe};\ \overset{-3}{N} \rightarrow \overset{0}{N}$$

1337. Из хлора в две стадии получите хлорид железа (II). Приведите два варианта ответа.

1338. Как, имея нитрат железа (III), получить хлорид железа (II)? Приведите уравнения реакций.

1339. Используя пероксид водорода, аммиак, хлорид железа (II) и бромоводород, получите в чистом виде бромид железа (III).

1340. Используя нитрат железа (II), пероксид водорода и гидроксид марганца (II), получите в чистом виде нитрат марганца (II).

1341. Получите хлорид железа (III) с помощью окислительно-восстановительных реакций из пяти разных веществ.

1342. Приведите четыре кислородсодержащих вещества, из которых с помощью реакций, протекающих без изменения степени окисления, можно получить в одну стадию хлорид железа (III). Напишите уравнения реакций.

1343. Приведите шесть реакций (три окислительно-восстановительные и три, протекающие без изменения степеней окисления), с помощью которых можно получить хлорид железа (III).

1344. Исходя только из простых веществ и используя только окислительно-восстановительные реакции, получите: а) оксид железа (II); б) сульфат железа (II).

1345. Используя цинк, соляную кислоту и водный раствор сульфата железа (III), получите в чистом виде шесть веществ (не прибегая к электролизу).

1346. Имеются концентрированная серная кислота, железо, вода, гидроксид калия. Получите из этих веществ шесть разных солей.

1347. Имеются сульфид железа (II) и водные растворы гидроксида натрия, сульфата алюминия, хлороводорода. Получите из этих веществ семь разных солей, не прибегая к окислительно-восстановительным процессам.

1348. Имеются сульфид железа (II) и сульфид алюминия, а также водные растворы гидроксида бария и хлороводорода. Получите из этих веществ семь разных солей, не прибегая к окислительно-восстановительным процессам.

1349. Из нитрата железа (II), не используя других азотсодержащих веществ, получите три разных вещества, содержащих азот и натрий одновременно.

1350. Имеются сульфид железа (II), водород и кислород. Добавьте к этим веществам по своему выбору соединение бария, не имеющее в составе серы, и получите сульфат бария. Выбор катализаторов не ограничен.

1351. Имеются вода и пероксид натрия. Выберите только одну кислоту и одно основание и получите с использованием четырех веществ, а также продуктов их взаимодействия следующие вещества: сульфат железа (II), оксид железа (III), кислород и сульфат натрия.

1352. В пробирке находится смесь карбоната бария, карбоната железа (II) и карбоната натрия. Какие операции необходимо совершить, чтобы получить растворы или осадки, в состав одного из которых входят катионы только натрия, в состав другого — катионы только железа (II), а в состав третьего — катионы только бария? Напишите уравнения реакций.

1353. В результате окисления хлорида железа (II) образуется вещество X, которое в обменной реакции образует не растворимое в воде соединение. Напишите уравнения обеих реакций (один из возможных вариантов ответа).

1354. В результате восстановления хлорида железа (III) образуется сложное вещество X, которое может вступать в реакцию замещения. Напишите уравнения обеих реакций (один из возможных вариантов ответа).

1355. Бромид железа (II) может получиться в результате: а) окисления вещества X; б) реакции обмена с участием вещества Y. Напишите уравнения обеих реакций, протекающих в водной среде (один из возможных вариантов ответа).

1356. Оксид железа (II) может получиться в результате: а) восстановления вещества X; б) разложения вещества Y. Напишите уравнения обеих реакций (один из возможных вариантов ответа).

1357. В результате двух последовательных окислительно-восстановительных реакций был получен гидроксид железа (III). Напишите уравнения реакций (*один из возможных вариантов без* использования электролиза).

1358. Определите, какое вещество вступило в реакцию:

$$?+H_2SO_4\ (конц)+18HNO_3\ (конц)\rightarrow Fe_2(SO_4)_3+18NO_2\uparrow+xH_2O$$

Составьте электронный баланс и напишите уравнение в полном виде.

1359. Определите, какое вещество вступило в реакцию:

$$?+14H_2SO_4\ (конц)\rightarrow Fe_2(SO_4)_3+15SO_2\uparrow+xH_2O$$

Составьте электронный баланс и напишите уравнение в полном виде.

1360. Приведите три варианта перехода

$$\text{Сульфат железа (II)}\rightarrow ?\rightarrow \text{Бромид железа (III)}$$

если: а) обе реакции окислительно-восстановительные; б) окислительно-восстановительная только первая реакция; в) окислительно-восстановительная только вторая реакция.

1361. Составьте уравнения реакций, протекающих в водной среде, по схеме:

$$\text{Хлорид железа (III)}\xrightarrow{+CO_3^{2-}}\ldots\xrightarrow{+HBr}\ldots\xrightarrow{+KI}\ldots\xrightarrow{+K_2S}\ldots$$

1362. Составьте уравнения в соответствии со схемой:

$$\begin{array}{ccccc} A & \longrightarrow & B & \longrightarrow & C \longrightarrow A \\ \uparrow\downarrow & & & & \\ D & \longrightarrow & E & \longrightarrow & F \longrightarrow D \end{array}$$

Буквами обозначены гидроксиды, хлориды и сульфаты железа.

1363. Составьте уравнения в соответствии со схемой:

$$FeCl_2\longrightarrow A\longrightarrow B\longrightarrow C\longrightarrow D\longrightarrow E\longrightarrow FeCl_2$$

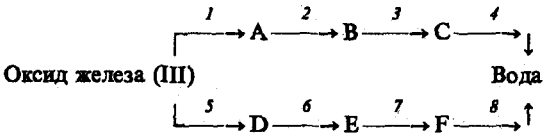
Вещества не повторяются; все вещества содержат железо; в схеме только три окислительно-восстановительные реакции (*подряд*).

1364. Составьте уравнения в соответствии со схемой:

$$\begin{array}{ccccccc} & & \xrightarrow{1} A & \xrightarrow{2} & B & \xrightarrow{3} & C \\ & \ulcorner & & & & & \\ \text{Бромид железа (II)} & & & & & \xrightarrow{7} & \text{Алюминат магния} \\ & \llcorner & & & & & \\ & & \xrightarrow{4} D & \xrightarrow{5} & E & \xrightarrow{6} & F \end{array}$$

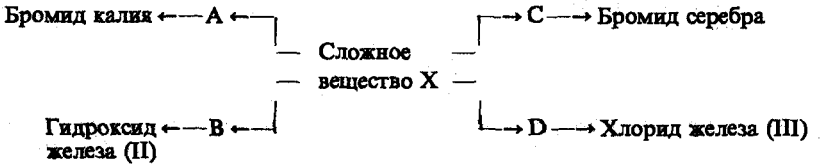
1 и *4* — реакции обмена, протекающие в водном растворе, *3* и *5* — реакции разложения, *2* и *6* — реакции замещения, *7* — реакция соединения. Вещества в схеме не повторяются.

1365. Составьте уравнения в соответствии со схемой:



1 — реакция замещения, *2* — реакция соединения, *3*, *5*, *6*, *7* — реакции обмена, *4* и *8* — реакции разложения. Вещества в схеме не повторяются.

1366. Составьте уравнения в соответствии со схемой:



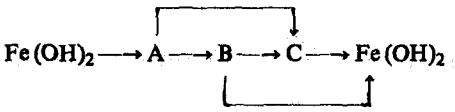
Вещества в схеме не повторяются.

1367. Составьте уравнения в соответствии со схемой:



Вещества в схеме не повторяются.

1368. Составьте уравнения в соответствии со схемой:



A, B, C — растворимые соли железа.

1369. Составьте уравнения окислительно-восстановительных реакций в соответствии со схемой:

$$X_1 \rightarrow X_2 \rightarrow \ldots \rightarrow X_n$$

X_1, X_2, X_n — соединения железа; значение n не меньше 12.

1370. Плотность железа равна 7,86 г/см^3, а алюминия — 2,70 г/см^3. Вычислите, как относятся объемы этих металлов, содержащих: а) одинаковое число атомов; б) одинаковое число электронов.

1371. При взаимодействии хлорида железа (II) со смесью соляной и азотной кислот образовалось 4,88 г хлорида железа (III). Вычислите объем (н. у.) выделившегося при этом газа, плотность которого по неону равна 1,50.

1372. Бромид железа (II) массой 43,2 г был окислен перманганатом калия в сернокислом растворе. Вычислите массу образовавшейся соли железа.

1373. В реакции между сульфатом железа (II) и сульфатом серебра (I) образовалось 4,32 г серебра. Вычислите массу второго продукта реакции.

1374. Твердый остаток, получаемый при прокаливании карбоната железа (II) в отсутствие воздуха, представляет собой кислородсодержащее соединение железа, в котором массовая доля железа составляет 72,4%. Вычислите, какой объем газов при нормальных условиях выделится при прокаливании 0,1 моль карбоната железа (II).

1375. При действии водяного пара на сульфид железа (II) образуется кислородсодержащее соединение железа, в котором массовая доля кислорода составляет 27,6%. Вычислите относительную плотность по воздуху выделяющейся в ходе этой реакции смеси газов.

1376. Порцию оксида железа (II) обработали избытком хлора при нагревании. На сколько процентов масса твердого остатка, полученного в результате реакции, будет больше массы исходной порции оксида железа?

1377. К 100 г 40,0%-го раствора сульфата железа (III) добавили 12,0 г гидрида калия. Вычислите массовые доли веществ, находящихся в растворе.

1378. К 200 г раствора, в котором массовая доля сульфата железа (II) равна 1,52%, а серной кислоты — 4,90%, добавили 4,64 г оксида железа (II, III). Вычислите массовые доли веществ в образовавшемся растворе.

1379. Смесь железа и алюминия общей массой 2,51 г обработали избытком концентрированного раствора гидроксида натрия. Нерастворившийся остаток отделили и обработали азотной кислотой. Образовавшуюся соль выделили из раствора и прокалили до постоянной массы, которая оказалась равной 3,20 г. Вычислите массовые доли металлов в исходной смеси.

1380. Железную пластинку массой 10,0 г опустили в 50,0 мл раствора нитрата серебра. По окончании реакции пластинку из раствора удалили, промыли водой и высушили. Ее масса оказалась равной 10,8 г. Вычислите молярную концентрацию нитрата серебра в исходном растворе.

1381. При прокаливании 1,40 г железа образовалась смесь двух оксидов. Вычислите область допустимых значений для объ-

ема кислорода, вступившего в реакцию (650 °С, нормальное давление).

1382. К 10,0 мл раствора, содержащего смесь двух сульфатов железа, до прекращения выпадения осадка добавили 4,00 мл раствора аммиака ($c = 1{,}25$ моль/л). Полученный осадок отфильтровали и прокалили до постоянной массы, которая оказалась равной 152 мг. Вычислите молярные концентрации веществ в исходном растворе.

1383. Сплав железа и магния с молярным соотношением компонентов 1:2 обработали 30,0%-й соляной кислотой массой 150 г. По окончании реакции массовая доля кислоты снизилась до 23,5%. Вычислите массу сплава.

1384. Какой объем хлора (н. у.) может вступить во взаимодействие со смесью железа, бромида железа (II) и иодида калия общей массой 25,9 г с молярным соотношением компонентов 1:3:2 (в порядке перечисления).

1385. Имеются равные массы 15,0%-х растворов серной кислоты и сульфата железа (III). После того как в первом растворе выдержали до окончания реакции железную пластинку (масса ее уменьшилась на 3,00 г), к нему добавили второй раствор. Какую массу нонагидрата сульфата железа (III) можно выделить из полученной смеси?

1386. Для полного растворения смеси оксида железа (II) и оксида железа (II, III) общей массой 14,8 г потребовался 21,0%-й раствор серной кислоты объемом 93,5 мл (пл. 1,14 г/мл). Вычислите массу железного купороса, которую можно выделить из получившегося раствора.

1387. Вычислите массовые доли веществ в растворе, образовавшемся после взаимодействия 150 мл 20,0%-й соляной кислоты (пл. 1,10 г/мл) сначала с 10,0 г оксида железа (II, III), а затем с избытком железа.

1388. Смесь одного из нитратов железа, сульфата аммония и сульфата цинка общей массой 54,95 г обработали избытком хлорида бария, при этом выделилось 46,6 г осадка. При обработке такой же порции исходной смеси избытком водного раствора гидроксида бария образовалось 57,3 г осадка и выделилось 2,24 л (н. у.) газа. Установите формулу нитрата железа, входившего в состав смеси.

1389. К 15,0%-му раствору хлорида железа (III) добавили карбонат калия. Полученный раствор отфильтровали и прокипятили (без потери воды). Выяснилось, что массовая доля соли железа уменьшилась в 3 раза. Установите состав полученного раствора в массовых долях.

1390. К раствору, содержащему 40,55 г смеси сульфата алюминия и одного из хлоридов железа, добавляли постепенно кон-

центрированный раствор щелочи. Максимальная масса осадка оказалась равной 20,1 г. При добавлении избытка щелочи масса осадка уменьшилась до 4,50 г и перестала изменяться при добавлении еще большего избытка. Установите, какой хлорид железа находился в исходной смеси.

1391. Вычислите массовую долю соли в растворе, полученном добавлением избытка сульфида железа (II) к 15,0%-й соляной кислоте.

1392. Какую массу сплава алюминия с железом необходимо добавить к 100 г 5,00%-й соляной кислоты, чтобы молярные концентрации обеих солей и кислоты в образовавшемся растворе стали равными между собой?

1393. Сплав железа и магния обработали разбавленным раствором серной кислоты. Масса выделившегося газа оказалась в 13,5 раза меньше массы сплава. Вычислите, каких атомов было в сплаве больше и во сколько раз.

1394. Смесь оксида железа (II, III) и железа общей массой 62,4 г обработали при высокой температуре водородом. К получившемуся продукту добавили избыток серной кислоты, при этом образовался 1 моль газа. Вычислите молярное соотношение компонентов в исходной смеси.

1395. Для полного хлорирования смеси железа и алюминия общей массой 5,56 г требуется 4,032 л хлора (н. у.). Вычислите массу 14,6%-й соляной кислоты, которая может вступить в реакцию с той же массой исходной смеси металлов.

1396. Смесь алюминия и железа может прореагировать максимально с 560 мл хлора (н. у). Какая масса 98,0%-го горячего раствора серной кислоты потребуется для полного растворения такой же смеси металлов с той же массой?

1397. Оксид железа (II, III) массой 69,6 г частично восстановлен. Образовавшаяся смесь имеет массу 60,0 г. Эту смесь продуктов обработали избытком соляной кислоты. Вычислите массу кристаллогидрата, который получится при выпаривании раствора (известно, что соль кристаллизуется с четырьмя молекулами воды).

1398. При нагревании в кислороде измельченного железа массой 16,8 г образовалась смесь оксидов, для растворения которой требуется 350 г 9,80%-го раствора серной кислоты. Вычислите массовые доли солей в образовавшемся при этом растворе.

1399. Для растворения смеси железа и одного из его оксидов требуется 225 г 14,6%-й соляной кислоты, при этом выделяется 1,12 л (н. у.) водорода и образуется смесь двух солей общей массой 51,55 г (в пересчете на безводное состояние). Вычислите массу исходной смеси железа и его оксида.

1400. Для полного растворения смеси оксида железа (II) и оксида железа (II, III) требуется 530 г 25,2%-го раствора азотной кислоты, при этом выделяется 3,36 л (25 °С, 103 кПа) оксида азота (II). Вычислите массовую долю кислорода в исходной смеси.

1401. К раствору, содержащему 29,9 г смеси нитрата хрома (III) и одного из нитратов железа, добавляли постепенно насыщенный раствор гидроксида натрия. Максимальная масса осадка оказалась равной 14,15 г. При добавлении избытка щелочи масса осадка уменьшилась до 9,00 г и перестала изменяться при добавлении еще большего избытка. Установите, какой нитрат железа находился в исходной смеси.

1402. При нагревании в аммиаке сухой соли железа образовалось 1,12 г железа, 2,16 г воды и 1,344 л (н. у.) азота. Установите формулу соли.

1403. Смесь сульфата железа (II) и сульфата железа (III), в которой число атомов кислорода равно числу Авогадро, а число атомов железа составляет 75,0% от числа атомов серы, растворили в воде. В полученный раствор погрузили железную пластинку массой 7,00 г и выдержали до прекращения реакции. Во сколько раз уменьшится масса пластинки?

1404. При нагревании (около 1100 °С) двух соединений железа были получены два вещества: железо и оксид углерода (II). Масса железа оказалась в 7,5 раза больше массы оксида углерода (II). Какие вещества вступили в реакцию?

1405. При окислении оксида железа (II) кислородом масса твердого вещества увеличилась на 4,44%. При обработке полученной смеси веществ соляной кислотой выделили 27,05 г гексагидрата хлорида железа (III). Вычислите массу исходного оксида.

1406. Смесь двух сульфатов железа растворили в воде и обработали раствором аммиака до прекращения выделения осадка. Осадок обработали избытком концентрированного раствора азотной кислоты. Полученный сухой остаток растворили в воде и вновь обработали раствором аммиака той же концентрации до прекращения выделения осадка. Объемы растворов аммиака различаются в 1,18 раза. Вычислите массовые доли солей в исходной смеси.

1407. К 250 г 8%-го раствора сульфата железа (III) добавили иодид бария. После нагревания образовавшейся смеси была получена смесь безводных солей общей массой 46,4 г. Эту смесь обработали водой массой 176,9 г, при этом получили 200 г раствора. Вычислите массовые доли веществ в полученном растворе.

1408. К 12%-му раствору сульфата железа (III) добавили 7,82%-й раствор иодида бария. В надосадочной жидкости молярная концентрация иодид-ионов оказалась в 4 раза больше молярр-

ной концентрации сульфат-ионов. Вычислите, в каком соотношении по массе смешали растворы.

1409. Смесь хлорида железа (III) и карбоната натрия растворили в избытке воды, образовавшийся осадок отделили. При прокаливании осадка масса его уменьшилась на 2,7 г. В сухом остатке, полученном в результате выпаривания надосадочной жидкости и удаления кристаллизационной воды, массовая доля хлора составила 50%. Вычислите массу исходной смеси солей.

2.12. МЕДЬ И ЕЕ СОЕДИНЕНИЯ

Медь — *d*-элемент, находящийся в IB-группе четвертого периода периодической системы. Электронная конфигурация атома $3d^{10}4s^1$. Медь в соединениях существует преимущественно в степенях окисления +1 и +2.

Медь — металл красного цвета; температура плавления 1085 °С, температура кипения 2540 °С, плотность 8,92 г/см^3.

Медь довольно слабый восстановитель и вступает в реакции только с достаточно сильными окислителями. Медь непосредственно реагирует с хлором и бромом ($CuCl_2$ и $CuBr_2$), кислородом (CuO или Cu_2O в зависимости от условий), серой (CuS или Cu_2S в зависимости от условий). Медь стоит в ряду стандартных электродных потенциалов правее водорода и не вытесняет его из разбавленных соляной и серной кислот. Медь медленно окисляется кислородом воздуха в солянокислом растворе:

$$2Cu + 4HCl + O_2 \rightarrow 2CuCl_2 + 2H_2O$$

Медь окисляется концентрированной серной кислотой (при нагревании) и азотной кислотой:

$$3Cu + 8HNO_3\ (разб) \rightarrow 3Cu(NO_3)_2 + 2NO\uparrow + 4H_2O$$

$$Cu + 4HNO_3\ (конц) \rightarrow Cu(NO_3)_2 + 2NO_2\uparrow + 2H_2O$$

$$Cu + 2H_2SO_4\ (конц) \rightarrow CuSO_4 + SO_2\uparrow + 2H_2O$$

Помимо кислот, медь окисляется некоторыми оксидами неметаллов, например:

$$4Cu + SO_2 \rightarrow Cu_2S + 2CuO$$

$$4Cu + 2NO_2 \rightarrow 4CuO + N_2$$

Обе реакции протекают при повышенной температуре.

Оксид меди (I) имеет основный характер, его гидроксид неустойчив. Медь в степени окисления +1 существует также в галогенидах и сульфиде. Все эти соединения не растворимы в воде. Галогениды можно получить реакцией между оксидом

меди (I) и разбавленной галогеноводородной кислотой, например:

$$Cu_2O + 2HI \rightarrow 2CuI\downarrow + H_2O$$

Многие соли меди (I) кислородсодержащих кислот не получены. Устойчивыми являются различные комплексные соединения меди (I).

Для соединений меди (I) характерны следующие окислительно-восстановительные реакции:

а) восстановление ($Cu^+ + e^- \rightarrow Cu^0$), например:

$$Cu_2O + CO \rightarrow 2Cu + CO_2$$

б) окисление ($Cu^+ - e^- \rightarrow Cu^{2+}$), например:

$$CuCl + 3HNO_3 \rightarrow Cu(NO_3)_2 + HCl + NO_2\uparrow + H_2O$$

в) диспропорционирование ($2Cu^+ \rightarrow Cu^{2+} + Cu^0$), например:

$$Cu_2SO_4 \xrightarrow{H_2O} Cu + CuSO_4$$

Последняя реакция показывает, что в водном растворе ионы Cu^+ практически не существуют.

Соединения меди (II) являются более распространенными по сравнению с соединениями Cu (I). Оксид меди CuO и гидроксид $Cu(OH)_2$ обладают слабоамфотерными свойствами; при сплавлении с оксидами щелочных металлов образуются куприты, например:

$$CuO + Na_2O \rightarrow Na_2CuO_2$$

Для образования комплексной соли $Na_2[Cu(OH)_4]$ требуются очень концентрированные растворы (более 40%). Гидроксид меди (II) — термически неустойчивое соединение и полностью разлагается на оксид и воду при 200 °С. Соединения меди (II) могут восстанавливаться по полуреакциям:

а) $Cu^{2+} + e^- \rightarrow Cu^+$, например:

$$2CuSO_4 + 4KI \rightarrow 2CuI\downarrow + I_2 + 2K_2SO_4$$

$$CuCl_2 + Cu \rightarrow 2CuCl$$

$$2CuCl_2 + SO_2 + 4NaOH \rightarrow 2CuCl + Na_2SO_4 + 2NaCl + 2H_2O$$

$$2CuS + H_2 \xrightarrow{t} Cu_2S + H_2S$$

б) $Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu^0$

$$CuO + H_2 \xrightarrow{t} Cu + H_2O$$

$$Fe + CuSO_4 \rightarrow FeSO_4 + Cu$$

Многие соединения меди окрашены: CuO и сульфиды — черные, Cu_2O — красный; $Cu(OH)_2$ — голубого цвета; почти все безводные соли белые, а кристаллогидраты солей меди (II) имеют голубой или зеленый цвет.

Пример 51. Вычислите массу меди, которую можно получить при прокаливании 4,00 г смеси оксида меди (I) и сульфида меди (I), в которой на 2 атома кислорода приходится 13 атомов меди.

Решение. Между оксидом меди (I) и сульфидом меди (I) при прокаливании протекает реакция:

$$2Cu_2O + Cu_2S \rightarrow 6Cu + SO_2$$

Пусть в исходной смеси $\nu(Cu_2O) = x$ (моль); $\nu(Cu_2S) = y$ (моль). Выразим количества веществ атомов кислорода и серы:

$$\nu(O) = \nu(Cu_2O) = x;\ \nu(Cu) = 2\nu(Cu_2O) + 2\nu(Cu_2S) = 2x + 2y.$$

В соответствии с условием задачи $\nu(O) : \nu(S) = 2 : 13$; $x : (2x + 2y) = 2 : 13$; откуда $y = 2{,}25x$.

Выразим массы обоих веществ исходной смеси через x по формуле

$$m = M\nu;\ m(Cu_2O) = 144x;\ m(Cu_2S) = 160 \cdot 2{,}25x.$$

Составим уравнение

$$144x + 160 \cdot 2{,}25x = 4;\ \text{откуда}\ x = 0{,}007937\ \text{моль}.$$

Поскольку сульфид меди (I) был в избытке, расчет количества вещества меди ведем по оксиду меди (I):

$$\nu(Cu) = 3\nu(Cu_2O) = 3 \cdot 0{,}007937 = 0{,}0238\ \text{моль}.$$

Теперь находим массу меди:

$$m(Cu) = 64 \cdot 0{,}0238 = 1{,}52\ \text{г}.$$

Пример 52. Смесь двух хлоридов железа растворили в воде и обработали избытком меди. Масса солей, выделенных после выпаривания, оказалась на 7,70% больше исходной массы. Во сколько раз увеличится масса такой же смеси двух хлоридов железа после обработки ее избытком хлора?

Решение. Медь реагирует только с хлоридом железа (III):

$$2FeCl_3 + Cu \rightarrow 2FeCl_2 + CuCl_2 \qquad (I)$$

Пусть в исходной смеси $\nu(FeCl_3) = x$; $\nu(FeCl_2) = y$.

Выразим массы этих солей через x по формуле

$$m = M\nu;\ m(FeCl_3) = 162{,}5x;\ m(FeCl_2) = 127y.$$

В соответствии с уравнением реакции (I)

$$\nu(Cu)_{вст I} = 0{,}5\nu(FeCl_3) = 0{,}5x.$$

Масса выделившейся меди составит

$$m(Cu)_{вст I} = 64 \cdot 0{,}5x = 32x.$$

По условию задачи:

$$\frac{m(FeCl_3) + m(FeCl_2) + m(Cu)_{вст I}}{m(FeCl_3) + m(FeCl_2)} = 1 + 0{,}077;$$

$$\frac{162{,}5x + 127y + 32x}{162{,}5x + 127y} = 1{,}077, \text{ откуда } y = 1{,}99x.$$

Хлор, наоборот, реагирует только с хлоридом железа (II):

$$2FeCl_2 + Cl_2 \rightarrow 2FeCl_3 \qquad (II)$$

В соответствии с уравнением реакции (II)

$$\nu(Cl_2)_{вст II} = 0{,}5\nu(FeCl_2) = 0{,}5 \cdot 1{,}99x = 0{,}995x.$$

Масса вступившего в реакцию хлора составит

$$m(Cl_2)_{вст II} = 71 \cdot 0{,}995x = 70{,}65x.$$

Выразим через x массу хлорида железа (II) в исходной смеси

$$127 \cdot 1{,}99x = 252{,}7x$$

и массу смеси хлоридов:

$$m(FeCl_3) + m(FeCl_2) = 162{,}5x + 252{,}7x = 415{,}2x.$$

Масса полученной смеси будет больше на массу вступившего в реакцию хлора, т. е. $415{,}2x + 70{,}65x = 485{,}9x$.

Отношение массы полученной при хлорировании смеси к массе исходной смеси составит $485{,}9x : 415{,}2x = 1{,}17$.

Таким образом, масса смеси увеличится в 1,17 раза.

ВОПРОСЫ, УПРАЖНЕНИЯ И ЗАДАЧИ

1410. Приведите электронную конфигурацию атома меди, ионов Cu^+ и Cu^{2+}. Могут ли существовать соединения меди, в которых степень окисления ее будет больше +2?

1411. Приведите по два примера уравнений реакций, в которые вступает сульфат меди (II): а) окислительно-восстановительных; б) обменных.

1412. Осуществите цепочку превращений: сульфат меди (II) → бромид меди (II) → хлорид меди (II) → нитрат меди (II) → гидроксид меди (II) → оксид меди (I) → медь.

1413. Составьте уравнения по схеме:

$$X \rightarrow Y \rightarrow Cu(OH)_2$$

X, Y — сложные вещества, содержащие медь; первая реакция — окислительно-восстановительная, вторая — реакция обмена.

1414. В промышленности медь получают восстановлением ее из концентрата состава $CuFeS_2$, однако в качестве реагентов используют кислород и оксид кремния (IV). Что восстанавливает медь до элементного состояния? Составьте уравнение реакции, отражающей процесс получения меди.

1415. Для меди характерно образование основных солей. Они входят, например, в состав малахита $Cu_2CO_5H_2$, азурита $Cu_3C_2O_{10}H_2$, брохантита $Cu_4SO_{10}H_6$, атакамита $Cu_4Cl_2O_6H_6$. Представьте формулы этих соединений в виде: а) основных солей; б) стехиометрических соединений солей и гидроксида (через точку); в) стехиометрических соединений солей и оксидов (через точку).

1416. Напишите уравнения реакций взаимодействия: а) оксида меди (I) с разбавленной азотной кислотой; б) оксида железа (II, III) с концентрированной азотной кислотой. Укажите общее в этих реакциях и черты различия.

1417. Напишите уравнения реакций взаимодействия: а) оксида меди (I) с концентрированной азотной кислотой; б) оксида железа (II) с разбавленной азотной кислотой. Укажите общее в этих реакциях и черты различия.

1418. Напишите уравнения реакций взаимодействия перманганата калия в кислой среде: а) с иодидом меди (I); б) с бромидом меди (II). Укажите общее в этих реакциях и черты различия.

1419. Напишите уравнения реакций, протекающих при совместном нагревании оксида меди (I), железа и хлората калия (бертолетовой соли) и не сопровождающихся выделением газообразных продуктов, если: а) в избытке было железо; б) в избытке был хлорат калия. Укажите общее в этих реакциях и черты различия.

1420. Напишите уравнения реакций, протекающих при взаимодействии сульфида меди (I) и: а) бертолетовой соли (при нагревании); б) концентрированной азотной кислоты.

1421. Напишите уравнения реакций, протекающих между бромидом меди (I) и: а) концентрированной серной кислотой; б) концентрированной азотной кислотой.

1422. При растворении как оксида меди (I), так и оксида меди (II) в серной кислоте образуется одна и та же соль. Напишите уравнения реакций растворения обоих оксидов в: а) разбавленной; б) концентрированной серной кислоте. Укажите общее в этих реакциях и черты различия.

1423. Напишите две реакции, в ходе которых образуются только одни и те же вещества: оксид меди (II), оксид натрия и азот.

1424. Напишите уравнение реакции, в ходе которой образуются только два разных галогенида меди (II).

1425. Напишите уравнение реакции, протекающей при взаимодействии двух веществ (в отсутствие воды), в ходе которой происходит изменение степеней окисления:

$$\overset{+1}{Cu} \rightarrow \overset{0}{Cu};\ \overset{-3}{N} \rightarrow \overset{0}{N}$$

1426. Напишите уравнение реакции, протекающей при взаимодействии двух веществ (в отсутствие воды), в ходе которой происходит изменение степеней окисления:

$$\overset{+2}{Cu} \rightarrow \overset{0}{Cu};\ \overset{-3}{N} \rightarrow \overset{0}{N}$$

1427. Напишите уравнения реакций:

а) $Cu + H_2SO_4\ (конц) \xrightarrow{t} X + ...$

б) $X + Fe \rightarrow ...$

1428. Напишите уравнения реакций:

а) $Cu + HNO_3\ (конц) \rightarrow X + ...$

б) $X + Zn \rightarrow ...$

1429. Напишите уравнения реакций:

а) $Cu + FeCl_3\ (водный\ раствор) \rightarrow X + ...$

б) $X + NH_3\ (водный\ раствор) \rightarrow ...$

1430. Напишите уравнения реакций:

а) $Cu + Fe_2(SO_4)_3\ (водный\ раствор) \rightarrow X + ...$

б) $X + Fe \rightarrow ...$

1431. Используя нитрат меди, воду и гидроксид магния, получите в чистом виде нитрат магния.

1432. Из гидрида натрия и пентагидрата сульфата меди получите два простых вещества, не прибегая к электролизу.

1433. Не прибегая к электролизу, из гидрида кальция и основного карбоната меди $(CuOH)_2CO_3$ получите два простых вещества.

1434. Имея растворимый и нерастворимый карбонаты (выбор по желанию), а также медный купорос, получите гидрокарбонат.

1435. Из гидрида кальция, дигидрата хлорида меди и хлорида ртути (II) получите три простых вещества, не прибегая к электролизу.

1436. Не прибегая к окислительно-восстановительным реакциям, пользуясь только основным карбонатом меди (II), гидроксидом кальция и азотной кислотой, получите в чистом виде восемь веществ.

1437. В состав вещества, имеющего ионное строение, входят атомы меди, кислорода и азота. Используя только одну кислоту (по своему выбору), получите другое вещество ионного строения, в состав которого входит медь, но не входят кислород и азот.

1438. Имеются сульфид меди (II) и пероксид водорода. Добавьте к этим веществам по своему выбору соединение натрия, не имеющее в составе серы, и получите сульфат натрия. Выбор катализаторов не ограничен.

1439. Имеются вода и оксид меди (II). Выберите только одно простое вещество и одну кислоту и получите с использованием четырех веществ, а также продуктов их взаимодействия следующие вещества: нитрат меди (II), нитрат калия, оксид азота (II), оксид азота (IV).

1440. Исходя только из простых веществ и используя только окислительно-восстановительные реакции, получите: а) нитрат меди (II); б) иодид меди (I).

1441. Оксид меди (I) растворили в избытке разбавленной азотной кислоты. Полученный раствор обработали большим избытком магния. В полученном растворе оказалось три вида ионов. Какие это ионы? Напишите уравнения реакций.

1442. Хлорид меди (II) может получиться в результате: а) окисления сложного вещества X; б) реакции замещения с участием сложного вещества Y. Напишите уравнения обеих реакций (один из возможных вариантов ответа).

1443. Хлорид меди (II) вступает в реакцию, в ходе которой получается вещество X, содержащее медь в степени окисления +1. В ходе другой реакции с участием хлорида меди (II) образуется вещество Y, содержащее медь в степени окисления +2. Напишите уравнения обеих реакций (один из возможных вариантов ответа).

1444. Определите, какое вещество вступило в реакцию:

$$?+13H_2SO_4\ (\text{разб})+2KMnO_4 \rightarrow 10CuSO_4+2MnSO_4+K_2SO_4+xH_2O$$

Составьте электронный баланс и напишите уравнение в полном виде.

1445. Определите, какое вещество вступило в реакцию:

$$?+3HNO_3\ (конц) \rightarrow Cu(NO_3)_2+HCl+NO_2\uparrow+xH_2O$$

Составьте электронный баланс и напишите уравнение в полном виде.

1446. Вещество X, реагируя поврозь с веществами A, B и C, образует в каждом случае нитрат меди (II) и оксид азота (II). Приведите один из возможных вариантов ответа относительно веществ A, B, C и X и составьте уравнения реакций.

1447. Составьте уравнения в соответствии со схемой:

$$CuCl \rightarrow CuSO_4 \rightarrow CuCl_2 \rightarrow CuSO_4$$

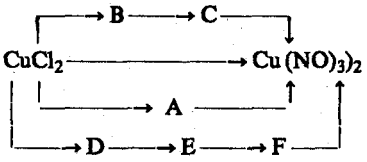
1448. Как можно химическим способом выделить алюминий из его смеси с оксидом меди (II)?

1449. Расположите медь, бромид меди (I), оксид меди (II), хлорид меди (II) в такую последовательность, в которой перечисленные вещества связаны только окислительно-восстановительными реакциями.

1450. Расположите медь, иодид меди (I), бромид меди (II), сульфат меди (II) в такую последовательность, в которой перечисленные вещества связаны только окислительно-восстановительными реакциями.

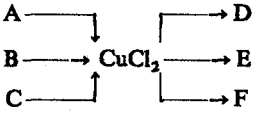
1451. Расположите медь, сульфат меди, оксид меди (II), нитрат меди (II) в такую последовательность, в которой перечисленные вещества связаны только окислительно-восстановительными реакциями.

1452. Составьте уравнения реакций в соответствии со схемой:



Вещества в схеме не повторяются.

1453. Составьте уравнения реакций в соответствии со схемой:

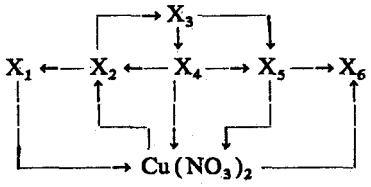


Все вещества в схеме сложные; они не повторяются и все содержат медь.

1454. Составьте уравнения реакций в соответствии со схемой:

$$CuBr_2 \xrightarrow{Cl_2} ? \xrightarrow{KI} ? \xrightarrow{HNO_3\ (конц),\ t} ? \xrightarrow{?} ? \rightarrow CuBr_2$$

1455. Составьте уравнения реакций, протекающих без изменения степеней окисления, в соответствии со схемой:



Все вещества в схеме содержат медь.

1456. Составьте уравнения реакций в соответствии со схемой:

$$CuBr_2 \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow CuBr_2$$

Вещества не повторяются; все вещества содержат медь; в схеме только три окислительно-восстановительные реакции (подряд).

1457. Объемы магния и меди, в которых содержится одинаковое число протонов, относятся как 93 : 20. Вычислите, во сколько раз плотность меди больше плотности магния.

1458. При прокаливании оксида меди (I) совместно с сульфидом меди (I) образовалось 12,8 г меди. Вычислите объем (н. у.) второго продукта реакции.

1459. Сплав железа и меди общей массой 18,4 г обработали на холоду концентрированной азотной кислотой, при этом выделилось 8,96 л газа (н. у.). Вычислите общее число атомов в исходной смеси.

1460. Сплав железа и меди общей массой 8,133 г обработали при нагревании концентрированной азотной кислотой, при этом выделилось 8,96 л газа (н. у.). Вычислите общее число атомов в исходной смеси.

1461. При восстановлении одного из оксидов меди угарным газом массовая доля меди в продуктах реакции составила 74,4%. Установите, какой оксид меди вступил в реакцию.

1462. Смесь оксида меди (II) и оксида железа (II) общей массой 11,6 г растворили в 100 г раствора серной кислоты с массовой долей 0,500. При выпаривании раствора была получена смесь гептагидрата сульфата железа (II) и пентагидрата сульфата меди общей массой 38,9 г. Во сколько раз количество вещества в исходной смеси одного из оксидов было больше, чем другого?

1463. Оксид углерода (IV) объемом 0,896 л (н. у.) пропустили над раскаленным углем массой 0,120 г и затем полученную смесь газов — над раскаленным оксидом меди (II) массой 2,00 г. Какой объем 20,0%-го раствора азотной кислоты (пл. 1,12 г/мл) потребуется для полного растворения твердого остатка?

1464. Сплав меди с алюминием обработали сначала избытком раствора щелочи, а затем избытком разбавленной азотной кислоты. Вычислите массовые доли металлов в сплаве, если известно, что объемы газов, выделившихся в обеих реакциях (при одинаковых условиях), равны между собой.

1465. В достаточном объеме воды растворили 5,00 г тригидрата нитрата меди и 5,00 г гексагидрата нитрата меди, в полученный раствор опустили магниевую пластинку массой 10,0 г. Как изменится масса пластинки по окончании реакции?

1466. Пентагидрат сульфата меди смешали в молярном соотношении 3 : 1 с безводным сульфатом меди. Такую смесь массой 7,50 г растворили в 35,0 г воды. В полученном растворе выдержали до окончания реакции цинковую пластинку массой 5,00 г. Какое количество вещества воды следует выпарить из образовавшегося раствора для получения гептагидрата сульфата цинка?

1467. Имеется 2,48 г смеси двух оксидов меди, в которой массовая доля меди равна 85,0%. Вычислите объем 85,0%-го раствора серной кислоты (пл. 1,78 г/мл), необходимый для полного солеобразования.

1468. В каком соотношении по массе следует взять две порции меди, чтобы при их раздельной обработке разбавленным и концентрированным раствором азотной кислоты (в обоих случаях кислота в избытке) выделились одинаковые массы газов?

1469. Безводный хлорид меди смешали с дигидратом хлорида меди (II) так, чтобы в полученной смеси на один атом хлора приходился один атом водорода. Такую смесь массой 8,00 г растворили в воде, при этом получилось 45,0 г раствора, в котором выдержали до окончания реакции алюминий массой 4,00 г. Какой объем воды следует выпарить, чтобы получить гексагидрат хлорида алюминия?

1470. Смесь нитрата серебра и нитрата меди массой 10,0 г (молярное отношение 1 : 2) растворили в 100 г воды. В полученном растворе выдержали до окончания реакции цинковую пластинку массой 5,00 г. Какое количество вещества воды следует выпарить из образовавшегося раствора, чтобы получить гексагидрат нитрата цинка?

1471. В раствор сульфата меди (II) массой 50,0 г опустили железную пластинку массой 10,0 г. Через некоторое время ее вынули, масса ее оказалась равной 10,75 г. Вычислите массовую долю соли железа в получившемся растворе.

1472. В 16,0%-й раствор сульфата меди (II) массой 200 г опустили железную проволоку. Через некоторое время проволоку вынули и обработали концентрированным раствором азотной кислоты, при этом выделилось 0,448 л газа (н. у.). Вычислите суммарную массу кристаллогидратов, которые получатся упариванием первого раствора после удаления из него проволоки.

1473. Вычислите массовую долю соли в растворе, полученном добавлением избытка основного карбоната меди $(CuOH)_2CO_3$ к 10,0%-му раствору азотной кислоты.

1474. Медь массой 1,28 г окислили, при этом образовалась смесь двух оксидов. Вычислите диапазон допустимых значений для массы получившейся смеси.

1475. В сосуд вместимостью 1,00 л, стенки которого выдерживают давление, в 8 раз превышающее нормальное, поместили 4,18 г смеси основного карбоната меди $Cu(OH)_2 \cdot CuCO_3$, гидрокарбоната калия и карбоната аммония (количества веществ равны между собой). Сохранит ли целостность этот сосуд при нагревании его до 1000 °С?

1476. Смесь нитрата меди (II) и гидроксида натрия растворили в избытке воды, образовавшийся осадок отделили. При прокаливании осадка масса его уменьшилась на 6,3 г. В сухом остатке, полученном в результате выпаривания надосадочной жидкости и удаления кристаллизационной воды, массовая доля натрия составила 20%. Вычислите суммарную массу твердых веществ, образующихся при прокаливании этого остатка.

1477. Смесь хлорида меди (I) и сульфида меди (I) обработали избытком концентрированной серной кислоты. Относительная плотность по водороду выделившейся при нагревании смеси газов составила 27. Нелетучий остаток обработали водой до получения прозрачного раствора, к которому порциями по 4 г стали добавлять гидроксид натрия. Осадок начал образовываться только после добавления второй порции, а максимальная масса осадка образовалась после добавления седьмой порции. Вычислите область допустимых значений исходной суммарной массы солей.

1478. Сплав серебра и меди поместили в разбавленный раствор азотной кислоты, в результате реакции выделилось 784 мл (н. у.) оксида азота (II), а масса кислоты в растворе уменьшилась на 2/3. К полученному раствору добавили оксид серебра (I), смесь отфильтровали, а к фильтрату добавили избыток хлорида калия, в результате чего образовалось 12,2 г осадка, который также отфильтровали. Вычислите, какую массу иодида калия следует добавить к этому фильтрату для полного перевода ионов меди в осадок.

2.13. ЦИНК И ЕГО СОЕДИНЕНИЯ

Цинк — *d*-элемент, находящийся в IIB-группе четвертого периода периодической системы. Электронная конфигурация атома $3d^{10}4s^2$. Цинк в соединениях имеет постоянную степень окисления (+2).

Цинк — металл белого цвета; температура плавления 420 °С, температура кипения 906 °С, плотность 7,13 г/см^3.

Цинк — активный металл с амфотерными свойствами. Он растворяется в кислотах

$$Zn + 2HCl \rightarrow ZnCl_2 + H_2\uparrow$$

$$Zn + H_3PO_4\ (конц) \rightarrow ZnHPO_4\downarrow + H_2\uparrow$$

$$Zn + 4HNO_3\ (конц) \rightarrow Zn(NO_3)_2 + 2NO_2\uparrow + 2H_2O$$

$$4Zn + 10HNO_3\ (очень\ разб) \rightarrow 4Zn(NO_3)_2 + NH_4NO_3 + 3H_2O$$

и щелочах:

$$Zn + 2NaOH + 2H_2O \rightarrow Na_2[Zn(OH)_4] + H_2\uparrow$$

Цинк окисляется многими простыми веществами — неметаллами (галогенами, кислородом, серой, фосфором), а также многими оксидами неметаллов, например:

$$3Zn + SO_2 \rightarrow 2ZnO + ZnS$$

$$Zn + CO_2 \rightarrow ZnO + CO$$

(обе реакции идут при высоких температурах).

Оксид цинка образует цинкаты при сплавлении с оксидами, гидроксидами и карбонатами щелочных и щелочно-земельных металлов, а также при растворении в концентрированных растворах щелочей, например:

$$ZnO + BaCO_3 \rightarrow BaZnO_2 + CO_2\ (при\ сплавлении)$$

$$ZnO + 2NaOH + H_2O \rightarrow Na_2[Zn(OH)_4]\ (в\ растворе)$$

Гидроксид цинка — нерастворимое основание с амфотерными свойствами:

$$Zn(OH)_2 + 2CH_3COOH \rightarrow Zn(CH_3COO)_2 + 2H_2O$$

$$Zn(OH)_2 + 2KOH \rightarrow K_2[Zn(OH)_4]$$

Гидроксид цинка — термически неустойчивое вещество, полностью разлагающееся на оксид и воду при 250 °С.

Пример 53. Сплав цинка и железа общей массой 4,37 г обработали избытком разбавленного раствора азотной кислоты. Образовавшуюся смесь трех солей прокалили до постоянной массы. Масса остатка оказалась на 1,28 г больше исходной массы сплава. Какой объем водорода (н. у.) выделится при обработке такой же массы сплава избытком концентрированного раствора гидроксида калия?

Решение. Поскольку в условии задачи говорится, что образовалась смесь трех солей, это значит, что, кроме нитратов железа и цинка, образовался нитрат аммония. Следовательно, протекали реакции

$$4Zn + 10HNO_3 \rightarrow 4Zn(NO_3)_2 + NH_4NO_3 + 3H_2O \quad (I)$$

$$Fe + 4HNO_3 \rightarrow Fe(NO_3)_3 + NO\uparrow + 2H_2O \quad (II)$$

Все *нитраты* при нагревании разлагаются:

$$2Zn(NO_3)_2 \rightarrow 2ZnO + 4NO_2\uparrow + O_2\uparrow \quad (III)$$

$$4Fe(NO_3)_3 \rightarrow 2Fe_2O_3 + 12NO_2\uparrow + 3O_2\uparrow \quad (IV)$$

$$NH_4NO_3 \rightarrow N_2O\uparrow + 2H_2O \quad (V)$$

Таким образом, в сухом остатке после прокаливания останутся только Fe_2O_3 и ZnO (возможно образование цинкатов, однако на дальнейших расчетах это никак не сказывается). Масса сухого остатка равна $4{,}37 + 1{,}28 = 5{,}65$ г.

Примем, что $\nu(Fe) = x$ (моль); $\nu(Zn) = y$ (моль). Установим стехиометрические отношения: по уравнениям (I) и (III) $\nu(ZnO) = \nu(Zn) = y$; а по уравнениям (II) и (IV) $\nu(Fe_2O_3) = 0{,}5\nu(Fe) = 0{,}5x$. Выразив для всех веществ массы по формуле $m(X) = M(X)\nu(X)$, составим систему уравнений:

$$\begin{cases} 56x + 65y = 4{,}37, \\ 80x + 81y = 5{,}65, \text{ откуда } y = 0{,}04974. \end{cases}$$

С *раствором щелочи* реагирует только цинк:

$$Zn + 2KOH + 2H_2O \rightarrow K_2[Zn(OH)_4] + H_2\uparrow \quad (VI)$$

В соответствии с уравнением реакции $\nu(H_2) = \nu(Zn) = 0{,}04974$ моль.

Теперь рассчитаем объем выделившегося водорода:

$$V(H_2) = V_m\nu(H_2); \; V(H_2) = 22{,}4 \cdot 0{,}04974 = 1{,}11 \text{ л}.$$

Пример 54. При обработке 1,19 г сплава алюминия и цинка избытком концентрированного раствора гидроксида калия выделилось 896 мл (н. у.) газа. Вычислите диапазон допустимых значений массы 98,0%-го раствора серной кислоты, необходимой для выделения алюминия из 20,0 г такого сплава.

Решение. Алюминий и цинк растворяются в щелочах:

$$Zn + 2NaOH + 2H_2O \rightarrow Na_2[Zn(OH)_4] + H_2\uparrow \quad (I)$$

$$2Al + 2NaOH + 6H_2O \rightarrow 2Na[Al(OH)_4] + 3H_2\uparrow \quad (II)$$

Пусть в 1,19 г сплава $\nu(Zn) = x$ (моль); $\nu(Al) = y$ (моль). Вычислим количество вещества выделившегося водорода:

$$\nu(H_2) = V(H_2) : V_m; \; \nu(H_2) = 0{,}896 : 22{,}4 = 0{,}04 \text{ моль}.$$

В соответствии с реакциями (I) и (II)

$$\nu(H_2)_I = \nu(Zn); \; \nu(H_2)_{II} = 1{,}5\nu(Al).$$

Таким образом, можно составить уравнение

$$x + 1{,}5y = 0{,}04.$$

Чтобы составить второе уравнение, выразим массы металлов:

$$m(Zn) = M(Zn)\nu(Zn); \; m(Zn) = 65x;$$

$$m(\text{Al}) = M(\text{Al})\,\nu(\text{Al});\ m(\text{Al}) = 27y.$$

Составим систему уравнений

$$\begin{cases} 65x + 27y = 1{,}19, \\ x + 1{,}5y = 0{,}04, \text{ откуда } x = 0{,}01. \end{cases}$$

Вычислим количество вещества цинка в сплаве массой 20,0 г (ν'):

$$\nu'(\text{Zn}) = \frac{20{,}0 \cdot 0{,}01}{1{,}19} = 0{,}1681 \text{ моль}.$$

Для выделения алюминия сплав нужно обработать концентрированным раствором серной кислоты, с которой алюминий не реагирует, а цинк реагирует, образуя H_2S, S, SO_2:

$$\text{Zn} + 2\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{ZnSO}_4 + \text{SO}_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{O} \qquad \text{(III)}$$

$$3\text{Zn} + 4\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 3\text{ZnSO}_4 + \text{S}\downarrow + 4\text{H}_2\text{O} \qquad \text{(IV)}$$

$$4\text{Zn} + 5\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 4\text{ZnSO}_4 + \text{H}_2\text{S}\uparrow + 4\text{H}_2\text{O} \qquad \text{(V)}$$

В реакции (III) расходуется максимальное количество вещества H_2SO_4, а в реакции (V) — минимальное:

$$\nu_{\max}(\text{H}_2\text{SO}_4) = 2\nu(\text{Zn});\ \nu_{\min}(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1{,}2\nu(\text{Zn}).$$

Поскольку реакции (III) — (V) протекают параллельно, серной кислоты потребуется больше, чем $1{,}25\nu'(\text{Zn})$, но меньше, чем $2\nu'(\text{Zn})$, т. е.

$$\nu(\text{H}_2\text{SO}_4) > 1{,}25 \cdot 0{,}1681;\ \nu(\text{H}_2\text{SO}_4) > 0{,}2100 \text{ моль};$$

$$\nu(\text{H}_2\text{SO}_4) < 2 \cdot 0{,}1681;\ \nu(\text{H}_2\text{SO}_4) < 0{,}3362 \text{ моль}.$$

Рассчитаем массы раствора, соответствующие нижней и верхней границе интервала:

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4\text{,р-р}) = \frac{M(\text{H}_2\text{SO}_4)\,\nu(\text{H}_2\text{SO}_4)}{\omega(\text{H}_2\text{SO}_4)} = \frac{98\nu(\text{H}_2\text{SO}_4)}{0{,}98} = 100\nu(\text{H}_2\text{SO}_4).$$

Таким образом,

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4,\ \text{р-р})_{\min} = 100 \cdot 0{,}2100 = 21{,}0 \text{ г};$$

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4\text{,р-р})_{\max} = 100 \cdot 0{,}3362 = 33{,}6 \text{ г}$$

и для выделения цинка требуется раствора серной кислоты от 21,0 до 33,6 г.

ВОПРОСЫ, УПРАЖНЕНИЯ И ЗАДАЧИ

1479. Приведите электронную конфигурацию атома цинка и его иона. С каким ионом другого элемента совпадает электронная конфигурация иона цинка?

1480. Почему цинк в соединениях имеет постоянную степень окисления?

1481. Что общего в химических свойствах: а) цинка и железа; б) цинка и меди; в) цинка и алюминия? Приведите уравнения реакций.

1482. Объясните, почему цинк на воздухе устойчив.

1483. Приведите уравнения реакций, доказывающих амфотерный характер соединений цинка.

1484. Опишите внешние изменения, которые будут происходить при добавлении по каплям: а) раствора хлорида цинка к раствору гидроксида калия; б) раствора гидроксида натрия к раствору нитрата цинка. Поясните, приведите при необходимости уравнения реакций.

1485. Цинк в реакции с азотной кислотой в зависимости от концентрации кислоты может образовывать три разных оксида, простое вещество и соль. Составьте уравнения всех реакций.

1486. Приведите в ионном виде уравнения реакций, протекающих без изменения степеней окисления элементов: а) получения гидроксида цинка; б) растворения гидроксида цинка в сильной кислоте; в) растворения гидроксида цинка в щелочи.

1487. Через водный раствор тетрагидроксоцинката натрия пропускают постепенно бромоводород. Какие вещества могут одновременно находиться в системе (приведите пять возможных комбинаций)?

1488. *Составьте уравнения по схеме:*

$$X \rightarrow Y \rightarrow ZnS$$

X, Y — сложные вещества, содержащие цинк; первая реакция — окислительно-восстановительная, вторая — реакция обмена.

1489. Напишите уравнение реакции, протекающей при нагревании оксида железа (II, III) с избытком твердого нитрата цинка.

1490. Составьте уравнение реакции, протекающей при прокаливании смеси нитрата цинка и нитрата кальция в молярном соотношении 1 : 1.

1491. Напишите уравнения реакций, протекающих при взаимодействии в сильнощелочном растворе алюминия с нитритом калия, а цинка — с нитратом калия. Укажите общее в этих реакциях и черты различия.

1492. Напишите уравнения реакций, протекающих в водной среде:

а) $Zn + KOH\ (\text{конц, избыток}) \rightarrow X + \ldots$

б) $X + HBr \rightarrow \ldots$

1493. Напишите уравнения реакций, протекающих в водной среде:

а) $Zn + H_2SO_4$ (конц) $\xrightarrow{t} X + ...$

б) $X + KOH$ (конц, избыток) $\rightarrow ...$

1494. Напишите уравнения реакций, протекающих в водной среде:

а) $Zn + HNO_3$ (разб) $\rightarrow X + ...$

б) $X + KOH$ (конц, избыток) $\rightarrow ...$

1495. Из гидрида калия и гидроксида цинка получите твердый цинкат калия.

1496. Из гидрида калия и гептагидрата сульфата цинка получите в водном растворе цинкат калия.

1497. Используя нитрат цинка, воду и гидроксид алюминия, получите в чистом виде нитрат алюминия.

1498. Получите без использования серосодержащих соединений: а) сульфид цинка из сульфида меди (II); б) сульфид меди (II) из сульфида цинка.

1499. Исходя только из простых веществ и используя только окислительно-восстановительные реакции, получите: а) нитрат цинка; б) сульфат цинка; в) тетрагидроксоцинкат калия.

1500. Имеются сульфид цинка и водные растворы гидроксида калия, сульфата железа (II), серной кислоты. Получите из этих веществ семь разных солей, не прибегая к окислительно-восстановительным процессам.

1501. Имеются вода и хлорид цинка. Выберите только один гидрид и одну кислоту и получите с использованием четырех веществ, а также продуктов их взаимодействия, не прибегая к электролизу, следующие вещества: хлорид кальция, нитрат цинка, цинкат кальция, нитрат кальция, оксид цинка.

1502. В одной из склянок находится сульфид цинка, в другой — сульфид железа (II), в третьей — сульфид свинца (II). Как с помощью химических реакций и разницы в физических свойствах идентифицировать содержимое каждой склянки?

1503. В одной из склянок находится сульфат цинка, в другой — сульфат железа (II), в третьей — сульфат свинца (II). Как с помощью химических реакций и разницы в физических свойствах идентифицировать содержимое каждой склянки?

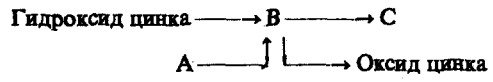
1504. Как можно разделить смесь сульфида магния, сульфида цинка и сульфида меди (II), не используя в качестве реактивов серосодержащие вещества?

1505. Как можно выделить кремний из его смеси с цинком и алюминием?

1506. Имеются два бесцветных газа — A и B, в состав молекул которых входят атомы одних и тех же элементов. При

добавлении одного из них к раствору $Na_2[Zn(OH)_4]$ образуется осадок, а при добавлении другого — нет. Предложите формулы A и B, а также способ их химического различения. Напишите уравнения реакций.

1507. Составьте уравнения в соответствии со схемой:



Среди веществ A, B и C — одна кислота и одна соль, но нет оснований и оксидов.

1508. Составьте уравнения в соответствии со схемой:

Нитрат цинка → A → B → C → Нитрат цинка

Вещества A, B и C содержат атомы цинка; все реакции окислительно-восстановительные.

1509. Составьте уравнения в соответствии со схемой:

Нитрат цинка → A → B → C → Нитрат цинка

A, B, C — *соединения цинка*; все реакции протекают без изменения степеней окисления.

1510. Составьте уравнения реакций, протекающих без изменения степеней окисления, в соответствии со схемой:

$$A_1 \rightarrow B_1 \rightarrow A_2 \rightarrow B_2 \rightarrow A_3 \rightarrow B_3$$

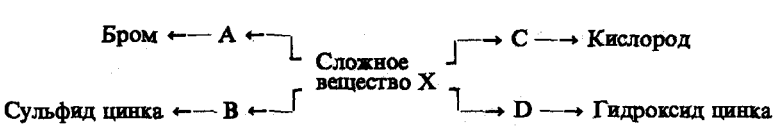
A — растворимые соли цинка; B — нерастворимые соли цинка.

1511. Расположите азотную кислоту, оксид азота (IV), нитрат цинка и нитрат аммония в такую последовательность, в которой перечисленные вещества связаны только окислительно-восстановительными реакциями.

1512. Расположите бромид кальция, бром, бромид цинка, хлорид кальция в такую последовательность, в которой перечисленные вещества связаны только окислительно-восстановительными реакциями.

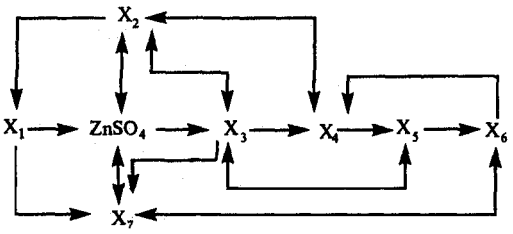
1513. Расположите нитрат меди (II), бромид меди (II), медь, бромид цинка в такую последовательность, в которой перечисленные вещества связаны только окислительно-восстановительными реакциями.

1514. Составьте уравнения в соответствии со схемой:



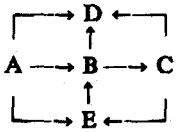
Вещества в схеме не повторяются.

1515. Составьте уравнения реакций, протекающих без изменения степеней окисления, в соответствии со схемой:



Все вещества содержат цинк.

1516. Составьте уравнения реакций в соответствии со схемой:



Одно из соединений содержит медь, другое — цинк, третье — алюминий.

1517. Вычислите суммарную массу солей, образующихся при взаимодействии 32,5 г цинка с перманганатом калия в сернокислом растворе.

1518. Вычислите массовые доли солей в растворе, получившемся после растворения избытка цинка в 1,50%-м растворе азотной кислоты (газообразные продукты не выделялись).

1519. Массовая доля цинка в его сплаве с медью равна 25,0%. Какую массу 40,0%-го раствора гидроксида натрия нужно взять для выделения меди из 150 мг этого сплава?

1520. Сплав серебра, железа и цинка общей массой 7,50 г (массы всех компонентов равны между собой) поместили в 250 г 12,5%-го раствора серной кислоты. Рассчитайте массовые доли веществ в получившемся растворе.

1521. Сплав меди, железа и цинка общей массой 6,00 г (массы всех компонентов равны между собой) поместили в 15,0%-ю соляную кислоту массой 150 г. Рассчитайте массовые доли веществ в получившемся растворе.

1522. К 15,0%-му раствору сульфата цинка массой 75,0 г добавили осторожно 0,460 г натрия. Вычислите массовые доли веществ в образовавшемся растворе.

1523. В сплаве алюминия с цинком массовая доля более легкого металла равна 0,400. Какой объем водорода (30 °C,

101 кПа) выделится при обработке 560 мг такого сплава избытком концентрированного раствора щелочи?

1524. При обработке 3,86 г сплава цинка и меди избытком концентрированного раствора щелочи выделилось 448 мл (н. у.) газа. Какой объем соляной кислоты с молярной концентрацией хлороводорода 5,00 моль/л нужно взять для извлечения меди из 50,0 г такого сплава?

1525. Газ, выделившийся при действии 3,00 г цинка на 18,69 мл 14,6%-й соляной кислоты (пл. 1,07 г/мл), пропущен при нагревании над 4,00 г оксида меди (II). Рассчитайте, каким минимальным объемом 19,6%-го раствора серной кислоты (пл. 1,14 г/мл) надо обработать полученную смесь, чтобы выделить из нее медь.

1526. Сульфид цинка подвергли обжигу на воздухе, в результате реакции масса твердого вещества уменьшилась на 12,8 г. Вычислите массу цинка, образующуюся при восстановлении углеродом остатка, полученного после обжига.

1527. Газ, полученный при обжиге смеси сульфидов железа (II) и цинка, пропустили через раствор сульфида аммония, при этом выпало 38,4 г осадка. Оставшийся после обжига твердый остаток обработали избытком 10%-го раствора гидроксида натрия, после чего его масса составила 16,2 г. Вычислите массовые доли сульфидов в исходной смеси.

1528. Гексагидрат нитрата цинка массой 11,88 г растворили в 150 мл воды. К полученному раствору добавили 8,48 г насыщенного раствора гидроксида калия (растворимость равна 112 г в 100 г воды). Вычислите массу раствора после окончания реакции.

1529. Какой объем 40,0%-го раствора гидроксида натрия (пл. 1,43 г/мл) необходим для полного растворения смеси гидроксида цинка и гидроксида алюминия, в которой суммарное количество вещества равно 100 ммоль, а массовая доля кислорода 0,55?

1530. Вычислите объем 40,0%-го раствора гидроксида калия (пл. 1,40 г/мл), который добавили к 40,0 г 23,8%-го раствора хлорида цинка, если масса осадка оказалась равной 4,95 г.

1531. В некотором объеме воды растворили 18,0 г гидроксида лития и в 2,5 раза большую массу ацетата цинка. Какие вещества и в каком количестве находятся в полученной смеси?

1532. Сплав цинка с медью обработали сначала разбавленным раствором серной кислоты, а затем — концентрированным раствором серной кислоты при нагревании (в обоих случаях кислота была взята в избытке). При действии концентрированного раствора объем газа был ровно в 3 раза больше, чем при

действии разбавленного (при одинаковых условиях). Вычислите массовые доли металлов в сплаве.

1533. В каком соотношении по массе следует взять две порции цинка, чтобы при их раздельной обработке избытками растворов азотной кислоты разных концентраций объем азота был равным объему оксида азота (II) (при одинаковых условиях)?

1534. Гептагидрат сульфата цинка смешали в молярном соотношении 5 : 1 с безводным сульфатом цинка. Такую смесь массой 10,0 г растворили в 50,0 мл воды. В полученном растворе выдержали до окончании реакции 10,0 г магниевой стружки. Какой объем воды следует выпарить из раствора, чтобы получить гептагидрат сульфата магния?

1535. Какую массу 10,0%-го раствора серной кислоты нужно добавить к сплаву меди, алюминия и цинка общей массой 4,50 г (массы всех компонентов равны между собой), чтобы массовая доля кислоты в получившемся растворе стала равной суммарной массовой доле солей?

1536. Какую массу 15,0%-го раствора серной кислоты нужно добавить к сплаву серебра, магния и цинка общей массой 9,00 г (массы всех компонентов равны между собой), чтобы молярная концентрация кислоты в получившемся растворе стала равной суммарной молярной концентрации ионов металлов?

1537. При взаимодействии 1500 г 19,6%-го раствора серной кислоты с железом в реакцию вступила половина всей массы кислоты. В полученный раствор добавили цинк, при этом выделилось 11,2 л газа (н. у.). Рассчитайте массовые доли веществ в образовавшемся растворе.

1538. К смеси оксида цинка и гидроксида алюминия общей массой 5,00 г добавили 16,0%-й раствор гидроксида натрия объемом 150 мл (пл. 1,18 г/мл). Известно, что в смеси массовая доля цинка в 3 раза больше массовой доли алюминия. Вычислите массовую долю щелочи в полученном растворе.

1539. К 1,00 мл раствора $K_2[Zn(OH)_4]$ с молярными концентрациями щелочи и комплексной соли соответственно 5,00 и 0,600 моль/л добавили 20,0 мл соляной кислоты. Молярная концентрация ионов водорода в получившемся растворе составила 0,05 моль/л. Вычислите молярную концентрацию хлороводорода в исходной соляной кислоте.

1540. К 10,0 мл раствора $K_2[Zn(OH)_4]$ с концентрацией 0,500 моль/л добавили 5,00 мл раствора серной кислоты с концентрацией 3,00 моль/л. Вычислите молярную концентрацию ионов водорода в получившемся растворе.

1541. К раствору, содержащему 75,4 г смеси сульфата цинка и одного из бромидов железа, добавляли постепенно насыщенный раствор гидроксида калия. Максимальная масса осадка ока-

залась равной 37,8 г. При добавлении избытка щелочи масса осадка уменьшилась до 18,0 г и перестала изменяться при добавлении еще большего избытка. Установите, какой бромид железа находился в исходной смеси.

1542. К раствору, содержащему 83,4 г смеси нитрата цинка и одного из сульфатов железа, добавляли постепенно концентрированный раствор смеси гидроксидов калия и натрия. Максимальная масса осадка оказалась равной 46,8 г. При добавлении избытка щелочного раствора масса осадка уменьшилась до 27,0 г и перестала изменяться при добавлении еще большего избытка. Установите, какой сульфат железа находился в исходной смеси.

1543. Вычислите объем раствора NaOH ($c = 4{,}00$ моль/л; пл. 1,15 г/мл), который добавили к 159,5 г 10,0%-го раствора иодида цинка, если масса осадка оказалась равной 0,990 г, а масса надосадочной жидкости больше 165 г.

1544. Вычислите массовую долю соли в растворе, полученном добавлением избытка карбоната цинка к 5,00%-му раствору бромоводородной кислоты.

1545. Какой объем при 1000 К и 100 кПа займут газообразные продукты, которые образуются при прокаливании смеси карбоната цинка, гидроксида цинка и гидрокарбоната натрия с молярным соотношением 1 : 2 : 9 соответственно и общей массой 10,8 г?

1546. При обработке смеси цинка, меди и железа избытком концентрированного раствора щелочи выделился газ, а масса нерастворившегося остатка оказалась в 2 раза меньше массы исходной смеси. Этот остаток обработали избытком соляной кислоты, объем выделившегося газа при этом оказался равным объему газа, выделившегося в первом случае (объемы измерялись при одинаковых условиях). Вычислите массовые доли металлов в исходной смеси.

1547. Смесь хрома, цинка и серебра общей массой 7,14 г обработали разбавленной соляной кислотой, масса нерастворившегося остатка оказалась равной 3,24 г. Раствор после отделения осадка обработали бромом в щелочной среде, а по окончании реакции обработали избытком нитрата бария. Масса образовавшегося осадка оказалась равной 12,65 г. Вычислите массовые доли металлов в исходной смеси.

1548. Оксид углерода (II) сожгли в избытке кислорода, полученную смесь газов, в которой массовая доля углекислого газа равна 30%, поместили в закрытый сосуд, содержащий пероксид калия. По окончании реакции давление в сосуде упало на 5%. Твердое вещество извлекли из сосуда и прокалили с оксидом цинка, в результате чего получили 20 г смеси веществ, в которой содержалось $9{,}26 \cdot 10^{22}$ атомов цинка. Вычислите объем кислорода (*н. у.*), *взятый для окисления* оксида углерода (II).

1549. В раствор хлорида цинка погрузили алюминиевую проволочку, спустя некоторое время ее вынули; масса ее увеличилась на 634,5 мг по сравнению с исходной. Эту проволочку полностью растворили в горячем растворе карбоната натрия, при этом выделилось 1,008 л (н. у.) одного газа. После этого раствор нагревали в течение некоторого времени, в результате чего выделилось 156,8 мл (н. у.) другого газа. В оставшемся растворе масса карбоната натрия в 2 раза превысила массу гидрокарбоната натрия. К этому раствору добавили раствор азотной кислоты, в результате чего массовая доля азотной кислоты оказалась в 2 раза меньше массовой доли нитрата цинка. Массовая доля какой соли в конечном растворе будет максимальной? Во сколько раз она будет больше массовой доли азотной кислоты?

2.14. КОМБИНИРОВАННЫЕ УПРАЖНЕНИЯ И ЗАДАЧИ ПО НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ

1550. Приведите пример реакций соединения между двумя веществами, молекулы которых содержат: а) неравное четное число атомов; б) равное нечетное число атомов.

1551. Приведите пример реакции разложения, в ходе которой образуются два вещества с равным числом атомов в молекулах.

1552. Напишите уравнение реакции разложения соли, при нагревании которой образуются: а) два простых вещества и одно сложное вещество; б) три сложных вещества; в) одно простое вещество и два сложных вещества.

1553. Приведите примеры: а) реакций разложения, в ходе которых образуются три вещества; б) реакций соединения между тремя веществами. В формульные единицы всех веществ входят атомы кислорода.

1554. Приведите по два примера реакций замещения, в которые вступает: а) неметалл; б) оксид.

1555. Приведите примеры веществ, которые: а) будут реагировать и с азотной, и с соляной кислотами; б) реагируют с соляной, но не реагируют с азотной кислотой; в) реагируют с азотной, но не реагируют с соляной кислотой. Приведите уравнения реакций.

1556. Напишите уравнения реакций, протекающих в водном растворе, в ионном виде:

а) уксусная кислота + гидроксид магния;

б) гидроксид меди (II) + иодоводородная кислота;

в) гидроксид железа (III) + иодоводородная кислота;

г) гидроксид бария + серная кислота;

д) гидроксид железа (II) + азотная кислота;

е) бромоводородная кислота + гидроксид хрома (III);

ж) карбонат натрия + сульфат железа (III);
з) гидросульфит натрия + азотная кислота;
и) нитрат железа (III) + сульфид калия;
к) сульфид натрия + нитрат алюминия;
л) дигидрофосфат натрия + гидроксид кальция;
м) гидросульфид кальция + азотная кислота.

1557. Напишите уравнения реакций, протекающих без изменения степеней окисления, по схеме:

$$\text{Кислотный оксид} \xleftarrow{\text{кислота}} X \xrightarrow{\text{щелочь}} \text{Средняя соль}$$

1558. К водному раствору, содержащему смесь хлороводорода и сероводорода, постепенно добавляют гидроксид натрия. Какие вещества могут одновременно находиться в растворе (приведите пять возможных комбинаций)?

1559. Осуществите цепочку превращений: оксид серы (VI) → серная кислота → сульфат натрия → гидроксид натрия → хлорид натрия → хлороводород → хлор → хлорид цинка.

1560. Осуществите цепочку превращений: гидрокарбонат натрия → углекислый газ → карбонат калия → нитрат калия → азотная кислота → нитрат алюминия → оксид алюминия → алюминат натрия.

1561. Составьте уравнения по схеме:

$$X \rightarrow MnSO_4 \rightarrow Y$$

X, Y — сложные вещества, содержащие марганец; первая реакция — окислительно-восстановительная, вторая — реакция обмена.

1562. Три металла X, Y, Z находятся в одной группе периодической системы, все они легко окисляются кислородом, но только один из них образует при этом оксид. Что это за металлы? Напишите уравнения реакций.

1563. Одному из оксидов металла соответствуют два типа средних солей. Что это за металл? Приведите формулы солей и назовите их.

1564. Напишите уравнение реакции, протекающей между двумя сложными веществами, в ходе которой изменяют степень окисления атомы только двух металлов (степень окисления одного увеличивается на единицу, а другого — уменьшается на единицу).

1565. Для следующих ионных уравнений составьте по два варианта молекулярных уравнений (Me — металл):

$$MeO + 2OH^- + H_2O \rightarrow [Me(OH)_4]^{2-}$$

$$[Me(OH)_4]^- + H^+ \rightarrow Me(OH)_3 + H_2O$$

$$Me(OH)_2 + 2OH^- \rightarrow [Me(OH)_4]^{2-}$$

1566. Остаток, полученный после прокаливания смеси двух солей, растворили в воде. В водном растворе были обнаружены только ионы калия и хлора. Предложите два варианта исходной смеси. Приведите уравнения химических реакций.

1567. Приведите пример одной соли, из которой в одну стадию можно получить металл, оксид, гидроксид, две соли, различающиеся степенью окисления металла (всего пять реакций).

1568. Приведите пример одной соли, из которой в одну стадию можно получить два разных простых вещества, гидроксид, две соли, отличающиеся степенью окисления одного и того же металла и растворимостью в воде.

Синтез

1569. Выберите кислоту и металл, с помощью которых, используя также воду, можно получить пероксид водорода.

1570. Выберите три простых вещества (два металла и один неметалл). Используя эти простые вещества, а также продукты их взаимодействия, составьте три уравнения реакций между простыми и сложными веществами.

1571. Из гидрида калия, аммиака и пероксида водорода получите три простых вещества.

1572. Из гидрида натрия, гидрокарбоната натрия и нитрата меди (II) получите три простых вещества.

1573. Выберите три простых вещества (два неметалла и один металл), с помощью которых можно получить шесть разных соединений, молекулы которых состоят из атомов только двух элементов.

1574. Выберите три вещества, одно из которых должно быть простым, с помощью которых можно получить оксид азота (II), гидроксид меди (II) и углекислый газ.

1575. Выберите три вещества, одно из которых должно быть простым, из которых можно получить оксид азота (I), углекислый газ и цинкат бария.

1576. Выберите три вещества, с помощью которых можно получить хлороводород, нитрат кальция и кислород.

1577. Имеются сульфид алюминия, водород и перманганат калия. Получите из этих веществ три разные соли одной и той же кислоты.

1578. Как из смеси серебра, алюминия и магния получить в чистом виде хлорид серебра, нитрат магния и сульфат алюминия? Напишите уравнения реакций.

1579. Имеются вода и фосфат натрия. Выберите только одно основание и одну соль и получите с использованием четырех веществ, а также продуктов их взаимодействия следующие вещества: фосфат кальция, фосфат бария, гидроксид натрия, нитрат натрия, кислород.

1580. Имеются вода и гидрид натрия. Выберите только две соли и получите с использованием четырех веществ, а также продуктов их взаимодействия, не прибегая к электролизу, следующие вещества: сульфат натрия, нитрат натрия, водород, кислород, цинкат магния.

1581. Имеются вода и гидрокарбонат калия. Выберите только две соли и получите с использованием четырех веществ, а также продуктов их взаимодействия, не прибегая к электролизу, следующие вещества: гидрокарбонат бария, нитрат калия, нитрат алюминия, гидроксид алюминия, сульфат бария.

1582. Имеются вода и гидрокарбонат натрия. Выберите только две соли и получите с использованием четырех веществ, а также продуктов их взаимодействия, не прибегая к электролизу, следующие вещества: хлорид натрия, нитрат натрия, карбонат кальция, гидрокарбонат кальция, гидроксид железа (III).

1583. Имеются вода и сульфид калия. Выберите только одну кислоту и одну соль и получите с использованием четырех веществ, а также продуктов их взаимодействия (без электролиза) следующие вещества: сульфид меди (II), оксид меди (II), сероводород, сульфат калия и нитрат калия.

1584. Имеются вода и карбонат цинка. Выберите только одну соль и одну кислоту и получите с использованием четырех веществ, а также продуктов их взаимодействия, не прибегая к электролизу, следующие вещества: углекислый газ, оксид азота (IV), оксид цинка, сульфид цинка и нитрат натрия.

1585. Имеются вода и нитрат бария. Выберите только две соли и получите с использованием четырех веществ, а также продуктов их взаимодействия (без электролиза) следующие вещества: оксид магния, кислород, сульфат бария, нитрат магния, нитрит калия.

1586. Имеются вода и нитрат меди (II). Выберите только один металл и только одно основание и получите с использованием четырех веществ, а также продуктов их взаимодействия (без электролиза) следующие вещества: нитрит калия, цинкат калия, гидроксид цинка, нитрат цинка, оксид меди (II). Выбор катализаторов не ограничен.

1587. Имеются вода и перманганат калия. Выберите только две соли и получите с использованием четырех веществ, а также продуктов их взаимодействия следующие вещества: гидроксид

меди (II), оксид меди (II), нитрат калия, нитрит калия, сульфат калия.

1588. Имеются вода и бромид натрия. Выберите только две соли и получите с использованием четырех веществ, а также продуктов их взаимодействия следующие вещества: оксид азота (IV), нитрит натрия, нитрат калия, серебро, иодид серебра.

1589. Имеются вода и иодид натрия. Выберите только одну соль и одно простое вещество и получите с использованием четырех веществ, а также продуктов их взаимодействия следующие вещества: иодид серебра, хлорид серебра, хлорид натрия, нитрит натрия, кислород.

1590. Имеются вода и оксид магния. Выберите только одну соль и одну кислоту и получите с использованием четырех веществ, в также продуктов их взаимодействия следующие вещества: сульфат магния, сульфат бария, нитрат магния, кислород, азотную кислоту.

1591. Имеются вода и карбид кальция. Выберите только одну соль и одну кислоту и получите с использованием четырех веществ, а также продуктов их взаимодействия следующие вещества: нитрат железа (III), нитрат кальция, карбонат кальция, гидроксид железа (II), бромид кальция.

1592. Исходя только из простых веществ и используя только окислительно-восстановительные реакции, получите: а) оксид железа (II); б) сульфат железа (II); в) нитрат меди (II); г) иодид меди (I); д) нитрат цинка; е) сульфат цинка; ж) тетрагидроксоцинкат калия; з) нитрат натрия; и) нитрат аммония; к) нитрит калия; л) сульфат алюминия; м) нитрат алюминия; н) тетрагидроксоалюминат натрия; о) гипохлорит кальция; п) хлорат калия (бертолетову соль); р) хлорид аммония; с) сульфат магния; т) карбонат натрия.

1593. Исходя только из оксидов и используя только окислительно-восстановительные реакции, получите: а) нитрат железа (III); б) нитрат меди (II); в) нитрат аммония; г) серную кислоту.

1594. Имеются аммиак, хлор, гидрид натрия, бромоводород, вода, медь и карбонат бария. Выберите из них четыре вещества и, расходуя только их, получите, не прибегая к электролизу, 4 средние соли и 4 оксида.

1595. Имеются пероксид водорода, серебро, аммиак, бром, гидрид калия, вода и сульфит кальция. Выберите из них четыре вещества и, расходуя только их, получите, не прибегая к электролизу, 4 средние соли и 4 оксида.

1596. Имеются бромид натрия, серебро, сульфат кальция, иодид меди (I), иодид железа (II), пероксид водорода и аммиак. Выберите из них четыре вещества и, расходуя только их, получите, не прибегая к электролизу, 3 основания и 4 средние соли.

1597. Имеются вода, нитрат меди (II), цинк, бромид магния, оксид серы (IV), хлорид аммония и гидрид натрия. Выберите из них четыре вещества и, расходуя только их, получите, не прибегая к электролизу, 4 оксида и 4 средние соли.

1598. Имеются бромид аммония, оксид серы (VI), гидрид калия, хлорид цинка, вода, нитрат алюминия и медь. Выберите из них четыре вещества и, расходуя только их, получите, не прибегая к электролизу, 3 оксида и 5 средних солей.

1599. Имеются иодид аммония, вода, гидроксид бария, гидрид кальция, нитрат цинка, карбонат магния и сера. Выберите из них четыре вещества и, расходуя только их, получите, не прибегая к электролизу, 3 основания и 4 оксида.

1600. Имеются хлороводород, сероводород, сульфид меди (II), сульфид железа (II), перманганат калия, сульфат натрия и вода. Выберите из них четыре вещества и, расходуя только их, получите, не прибегая к электролизу, 4 оксида и 4 средние соли.

1601. Имеются хлорат калия, гидросульфат аммония, графит, сероводород, хлорид натрия, цинк и вода. Выберите из них четыре вещества и, расходуя только их, получите, не прибегая к электролизу, 3 оксида и 4 средние соли.

1602. Имеются пероксид водорода, хлорид натрия, медь, бромоводород, оксид серы (IV), сульфат магния и карбонат бария. Выберите из них четыре вещества и, расходуя только их, получите, не прибегая к электролизу, 3 оксида (кроме воды) и 5 средних солей.

1603. Имеются кислород, сероводород, хлороводород, сульфид меди (II), гидрид калия, хлорид железа (III) и магний. Выберите из них четыре вещества и, расходуя только их, получите, не прибегая к электролизу, 4 оксида (кроме воды) и 4 средние соли.

1604. Имеются гидрид натрия, сероводород, бромоводород, сульфат железа (III), хлорат калия, алюминий и вода. Выберите из них четыре вещества и, расходуя только их, получите, не прибегая к электролизу, 8 средних солей.

1605. Имеются сера, натрий, сульфат магния, бромид аммония, бромид железа (III), медь и вода. Выберите из них четыре вещества и, расходуя только их, получите, не прибегая к электролизу, 8 средних солей.

1606. Имеются сульфат магния, сульфат железа (II), карбонат бария, хлор, гидрид калия, медь и пероксид водорода. Выберите из них четыре вещества и, расходуя только их, получите, не прибегая к электролизу, 7 средних солей.

1607. Имеются нитрат железа (II), бромид магния, гидрид натрия, хлор, пероксид водорода, сульфат калия и хлорид алюминия. Выберите из них четыре вещества и, расходуя только их, получите, не прибегая к электролизу, 8 средних солей.

1608. Имеются бромид натрия, медь, сульфат бария, карбонат магния, сульфит аммония, иодид железа (II) и серная кислота. Выберите из них четыре вещества и, расходуя только их, получите, не прибегая к электролизу, 8 средних солей.

1609. Имеются иодид калия, сульфат магния, хлорид кальция, бромид алюминия, карбонат бария, цинк и серная кислота. Выберите из них четыре вещества и, расходуя только их, получите, не прибегая к электролизу, 8 средних солей.

1610. Имеются хлорид бария, карбонат кальция, бромид натрия, оксид алюминия, серная кислота, магний и иодид цинка. Выберите из них четыре вещества и, расходуя только их, получите, не прибегая к электролизу, 8 средних солей.

1611. Имеются серная кислота, карбонат магния, цинк, хлорид бария, иодид натрия, бромид хрома(III) и вода. Выберите из них четыре вещества и, расходуя только их, получите, не прибегая к электролизу, 7 средних солей.

1612. Имеются серная кислота, оксид магния, хлорид бария, нитрит калия, гидрид натрия, бромид хрома(III) и вода. Выберите из них четыре вещества и, расходуя только их, получите, не прибегая к электролизу, 8 средних солей.

1613. Имеются дихромат калия, серная кислота, гидроксид меди (II), сульфат калия, карбонат бария, иодид калия и вода. Выберите из них четыре вещества и, расходуя только их, получите, не прибегая к электролизу, 8 средних солей.

1614. Имеются хромат натрия, фосфат калия, серная кислота, карбонат кальция, бромид натрия, кремний и вода. Выберите из них четыре вещества и, расходуя только их, получите, не прибегая к электролизу, 8 средних солей.

1615. Имеются нитрид бария, иодид цинка, бромид магния, сульфат натрия, оксид азота (II), хлор и пероксид водорода. Выберите из них четыре вещества и, расходуя только их, получите, не прибегая к электролизу, 8 средних солей.

1616. Имеются хлорид натрия, бромид хрома (III), нитрид магния, гидроксид калия, аммиак, углекислый газ и пероксид водорода. Выберите из них четыре вещества и, расходуя только их, получите, не прибегая к электролизу, 8 средних солей.

1617. Имеются гидрокарбонат натрия, сульфит калия, карбонат натрия, гидросульфит калия, сульфат железа (III), нитрат алюминия и вода. Выберите из них четыре вещества и, расходуя только их, получите, не прибегая к электролизу, 8 средних солей.

1618. Имеются гидрокарбонат калия, карбонат калия, сульфит натрия, нитрат хрома (III), хлорид железа (III), цинк и вода. Выберите из них четыре вещества и, расходуя только их, получите, не прибегая к электролизу, 8 средних солей.

1619. Имеются нитрат алюминия, хлорид аммония, сульфид калия, сульфат хрома (III), гидрокарбонат аммония, кремний и вода. Выберите из них четыре вещества и, расходуя только их, получите, не прибегая к электролизу, 8 оксидов.

Идентификация веществ

1620. В водном растворе имеется смесь пероксида водорода, нитрата бария, хлорида аммония. Докажите наличие в этом растворе всех трех компонентов (веществ или ионов).

1621. В трех пробирках находятся растворы хлорида аммония, нитрата серебра и нитрата меди. Как, не используя никаких других веществ, можно узнать, где какой раствор находится?

1622. В пяти пробирках находятся безводные соли: сульфат меди (II), сульфат алюминия, нитрат натрия, хлорид калия, дигидрофосфат аммония. Как распознать, где какое вещество находится?

1623. В пяти пробирках находятся водные растворы гидроксида калия, хлорида бария, серной кислоты, сульфата аммония, нитрата алюминия. Как, не используя никаких реактивов, распознать, где какой раствор находится?

1624. В пяти пробирках находятся водные растворы нитрата серебра, гидроксида натрия, хлорида аммония, азотной кислоты, хлорида алюминия. Как, не используя никаких реактивов, распознать, где какой раствор находится?

1625. В пяти пробирках находятся водные растворы сульфида натрия, сульфата хрома (III), хлорида бария, нитрата меди (II), сульфата аммония. Как, не используя никаких реактивов, распознать, где какой раствор находится?

1626. В пяти пробирках находятся водные растворы хлороводородной кислоты, нитрата аммония, нитрата цинка, гидроксида калия, нитрата серебра. Как, не используя никаких реактивов, распознать, где какой раствор находится?

1627. В пяти пробирках находятся водные растворы сульфата натрия, ацетата свинца (II), сульфида калия, хлорида алюминия, нитрата бария. Как, не используя никаких реактивов, распознать, где какой раствор находится?

1628. Водный раствор некоторой соли разделили на две части. Одну из них обработали избытком щелочи и нагрели, выделившийся газ изменил цвет красного лакмуса на синий. Другую часть обработали соляной кислотой, выделившийся газ вызвал помутнение известковой воды. Какую соль подвергли анализу? Приведите краткие пояснения, сопроводив их при необходимости уравнениями реакций.

1629. Водный раствор некоторой соли разделили на две части. Одну из них обработали избытком раствора нитрата серебра, в результате чего образовался белый творожистый осадок. Другую часть обработали серной кислотой, в этом случае образовался белый кристаллический осадок. Какую соль подвергли анализу? Приведите краткие пояснения, сопроводив их при необходимости уравнениями реакций.

1630. К водному раствору двух солей (все ионы разные) добавили избыток соляной кислоты, при этом выделился бесцветный газ, не обесцвечивающий подкисленный раствор перманганата калия. К оставшемуся раствору добавили избыток гидроксида кальция, при этом образовался осадок фосфата кальция, а в надосадочной жидкости оказались ионы Cl^-, OH^-, Ca^{2+}, K^+ и еще один ион. Установите, какой это ион, и определите, какие вещества находились в исходном растворе (два варианта ответа).

1631. К водному раствору двух солей добавили избыток сульфида калия, образовавшийся осадок отделили от раствора (раствор 1). Осадок обработали избытком соляной кислоты, при этом получили раствор 2 и нерастворившийся остаток, представляющий собой сульфид меди (II). В растворе 2 находятся два катиона, один из которых Fe^{2+}, и анион. Установите, какие вещества находились в исходном растворе, если известно, что в растворе 1 и растворе 2 имеется общий ион.

1632. Идентифицируйте четыре газа по совокупности физических и химических свойств: а) хорошо растворим в воде, не реагирует со щелочами, реагирует с кислотами; б) плохо растворим в воде, горюч, реагирует со щелочами; в) негорюч, реагирует со щелочами, образуя кислые и средние соли, обесцвечивает бромную воду; г) растворяется в воде, реагируя с ней, реагирует со щелочами, образуя две разные соли, имеет окраску. Приведите краткие пояснения, сопроводив их при необходимости уравнениями реакций.

1633. Приведите примеры биметаллических сплавов, характеризующихся различной растворимостью в кислотах и щелочах: а) частично растворяется в концентрированном растворе KOH и полностью — в разбавленной соляной кислоте; б) частично растворяется в концентрированной соляной кислоте и полностью — в концентрированном растворе H_2SO_4 при нагревании; в) частично растворяется в концентрированном растворе HNO_3 на холоду и полностью — в разбавленной соляной кислоте; г) не растворяется в концентрированном растворе HNO_3 на холоду и частично растворяется в концентрированном растворе NaOH; д) не растворяется в разбавленной соляной кислоте и полностью растворяется в разбавленном растворе азотной кислоты; е) полностью растворяется в концентрированном растворе щелочи

и частично — в концентрированном растворе HNO_3 без нагревания. Приведите уравнения протекающих реакций.

1634. При добавлении к водному раствору вещества А раздельно аммиака, сульфида натрия и нитрата серебра образуются белые осадки, причем два из них — одинакового состава. Что собой представляет вещество А?

1635. При добавлении к водному раствору вещества А раздельно сульфида калия, аммиака и хлорида бария образуются осадки. В первом и втором случае — серо-зеленого цвета одного состава; в третьем случае — белый кристаллический. Что собой представляет вещество А?

1636. При сгорании в присутствии кислорода бесцветного газа А с резким характерным запахом образуется другой газ В, без цвета и запаха, реагирующий при комнатной температуре с литием с образованием твердого вещества С. Напишите уравнения реакций.

1637. Серебристо-белый легкий металл А ярко горит на воздухе с образованием белого дыма (В). При взаимодействии вещества В с кислотой образуется соль С. При прибавлении нитрата серебра к С выпадает осадок, не растворимый в кислотах. Приведите уравнения реакций (один из возможных вариантов).

1638. Бесцветный газ А с характерным резким запахом реагирует с другим бесцветным газом В, имеющим запах тухлых яиц. В результате реакции образуется простое С и сложное вещество. Вещество С взаимодействует с медью с образованием соли черного цвета. Приведите уравнения реакций.

1639. Соль А образована двумя элементами, при обжиге ее на воздухе образуются два оксида: В — твердый, бурого цвета, и газообразный. Вещество В вступает в реакцию замещения с серебристо-белым легким металлом С (при нагревании). Приведите уравнения реакций (один из возможных вариантов).

1640. Бесцветный газ А с резким характерным запахом, легче воздуха, реагирует с сильной кислотой В, при этом образуется соль С, водный раствор которой не образует осадков ни с хлоридом бария, ни с нитратом серебра. Приведите уравнения реакций (один из возможных вариантов).

1641. Простое вещество А, образованное атомами второго по распространенности элемента земной коры, реагирует при нагревании с оксидом железа (II), в результате чего образуется соединение В, нерастворимое в водных растворах щелочей и кислот (кроме плавиковой). Вещество В при сплавлении с негашеной известью образует нерастворимую соль С. Приведите уравнения реакций (один из возможных вариантов).

1642. В атмосфере бурого газа А сгорает простое вещество В, при этом образуются два газообразных вещества — простое

и сложное С. Оба эти вещества входят в состав воздуха. Простое вещество вступает в реакцию соединения с магнием при нагревании. Приведите уравнения реакций.

1643. При взаимодействии серебристо-белого легкого металла А с очень разбавленной азотной кислотой образуются вода и две соли — В и С. При взаимодействии соли В с избытком гидроксида калия образуется белый студенистый осадок. Приведите уравнения реакций.

1644. При сгорании газообразного вещества А образуется белое твердое вещество В, хорошо растворимое в воде с образованием кислоты. Вещество В реагирует в присутствии воды с веществом С, образуя смесь двух солей, которая используется в качестве комплексного удобрения. Элементы, входящие в состав веществ А и С, находятся в одной группе периодической системы. Напишите уравнения реакций.

1645. Нерастворимое в воде соединение А бурого цвета при нагревании разлагается с образованием двух оксидов, один из которых — вода. Другой оксид В восстанавливается углем с образованием металла С, вторым по распространенности в природе металлом. Напишите уравнения реакций.

1646. Вещество А, входящее в состав одного из самых распространенных минералов, при обработке соляной кислотой образует газ В. При взаимодействии вещества В при нагревании с простым веществом С образуется только одно соединение — горючий газ без цвета и запаха. Приведите уравнения реакций.

1647. Легкий металл А, реагирующий с разбавленной серной кислотой, но не реагирующий на холоду с концентрированным раствором серной кислоты, взаимодействует с раствором гидроксида натрия, при этом образуются газ и соль В. При добавлении к веществу В серной кислоты образуется соль С. Приведите уравнения реакций.

1648. Серебристо-белый легкий металл А горит в водяных парах, при этом образуются два вещества — простое и сложное В. При растворении вещества В в кислоте образуется соль С. При прибавлении к водному раствору соли С хлорида бария образуется белый осадок. Приведите уравнения реакций.

1649. Вещество А представляет собой мягкий, хорошо режущийся ножом серебристо-белый металл, легче воды. При взаимодействии вещества А с простым веществом В образуется соединение С, растворимое в воде с образованием щелочного раствора. При обработке вещества С соляной кислотой выделяется газ с неприятным запахом и образуется соль, окрашивающая пламя горелки в фиолетовый цвет. Приведите уравнения реакций.

1650. Бесцветный газ А с резким характерным запахом окисляется кислородом в присутствии катализатора в соединение В, представляющее собой летучую жидкость. Вещество В, вступая в реакцию с негашеной известью, образует соль С. Приведите уравнения реакций.

1651. Вещество А — серебристо-белый легкий металл, не реагирующий с холодной, но реагирующий с горячей водой. При обработке вещества А веществом В выделяется горючий газ и образуется соль С. При добавлении к водному раствору вещество С гидроксида бария образуется смесь двух осадков белого цвета. Приведите уравнения реакций.

1652. Простое вещество А, жидкое при комнатной температуре, реагирует с серебристо-белым легким металлом В, образуя соль С, которая при обработке раствором щелочи дает белый осадок, растворяющийся в избытке щелочи. Приведите уравнения реакций.

1653. Смесь двух твердых веществ красного цвета (А) и белого цвета (В) воспламеняется при слабом трении. В результате реакции образуются два твердых вещества белого цвета, одно из которых — С — растворяется в воде с образованием кислого раствора. Если к веществу С добавить оксид кальция, образуется белое нерастворимое соединение. Напишите уравнения реакций.

1654. Твердое простое вещество А желтого цвета реагирует с серебристо-белым легким металлом В, в результате чего образуется соль С, полностью гидролизующаяся в водном растворе с образованием белого осадка и ядовитого газа с неприятным запахом. Приведите уравнения реакций.

1655. Простое неустойчивое газообразное вещество А превращается в другое простое вещество В, в атмосфере которого сгорает металл С; продуктом этой реакции является оксид, в котором металл находится в двух степенях окисления. Приведите уравнения реакций.

1656. Кристаллическое вещество темно-фиолетового цвета А при нагревании разлагается с образованием простого газообразного вещества В, в атмосфере которого сгорает простое вещество С, образуя бесцветный газ без запаха, входящий в небольших количествах в состав воздуха. Приведите уравнения реакций.

1657. Простое вещество А, являющееся полупроводником, реагируя с простым газообразным веществом В, образует соединение С, не растворяющееся в воде. При сплавлении со щелочами вещество С образует соединения, называемые растворимыми стеклами. Приведите уравнения реакций (один из возможных вариантов).

1658. Вещество А — мягкий, хорошо режущийся серебристо-белый металл легче воды. При взаимодействии вещества

А со сложным веществом В образуется соединение С, растворимое в воде, с образованием щелочного раствора и горючий газ. При обработке вещества С соляной кислотой образуется соль, использующаяся для консервирования пищевых продуктов. Приведите уравнения реакций.

1659. Простое газообразное вещество А желто-зеленого цвета с резким запахом реагирует с серебристо-белым металлом В, плотность которого меньше плотности воды. В результате реакции образуется вещество С, окрашивающее пламя горелки в фиолетовый цвет. При действии на твердое вещество С концентрированного раствора серной кислоты выделяется бесцветный газ, хорошо растворимый в воде. Напишите уравнения реакций.

1660. Ядовитый бесцветный газ А с неприятным запахом разлагается при нагревании на простые вещества, одно из которых В представляет собой твердое вещество желтого цвета. При сгорании вещества В образуется бесцветный газ С с неприятным запахом, обесцвечивающий многие органические краски. Приведите уравнения реакций.

1661. Бесцветный, без вкуса и запаха газ А несколько легче воздуха, горит на воздухе с образованием газа В, тяжелее воздуха. При пропускании газа В через избыток известковой воды выпадает осадок С белого цвета. Напишите уравнения реакций.

1662. Вещество А — легкий, довольно твердый серебристо-белый металл. При взаимодействии вещества А с В, являющимся простым газообразным веществом, образуется соединение С, растворимое в воде с образованием щелочного раствора. При обработке вещества С серной кислотой образуется соль, кристаллогидрат которой применяется в медицине для наложения фиксирующих повязок при переломах. Приведите уравнения реакций.

1663. Концентрированный раствор вещества А в реакции с медью при нагревании образует бесцветный газ В с резким запахом. Газ В реагирует с газом С, также бесцветным и с неприятным запахом, в результате чего образуется простое твердое вещество желтого цвета. Приведите уравнения реакций.

1664. Летучее водородное соединение А сгорает в воздухе, образуя вещество В, растворимое в плавиковой кислоте. При сплавлении вещества В с оксидом натрия образуется растворимая в воде соль С. Приведите уравнения реакций.

1665. Труднорастворимое в воде соединение А белого цвета при прокаливании при высокой температуре с углем и песком в отсутствие кислорода образует простое вещество В, существующее в нескольких аллотропных модификациях. При сгорании этого вещества в воздухе образуется соединение С, растворяющееся в воде с образованием кислоты, способной образовывать три ряда солей. Напишите уравнения реакций.

1666. Вещество А — оксид, растворимый в воде с образованием щелочного раствора. Соединение В, находящееся в таком растворе, реагирует с газом С, не имеющим запаха, с образованием белого осадка, который постепенно растворяется по мере дальнейшего пропускания газа С. Приведите уравнения реакций (один из возможных вариантов).

1667. Твердое белое хорошо растворимое в воде соединение А представляет собой кислоту. При добавлении к водному раствору вещества А оксида В образуется белое не растворимое в воде соединение С. При его прокаливании при высокой температуре с углем и оксидом кремния (IV) в отсутствие кислорода образуется простое вещество, входящее в состав А. Напишите уравнения реакций.

1668. При действии соляной кислоты на водный раствор соли А выделяется бесцветный газ В с неприятным запахом, при пропускании которого через раствор нитрата свинца образуется черный осадок С. Приведите уравнения реакций.

1669. Не растворимая в воде кислота А при нагревании образует соединение В, кристаллизующееся в атомной решетке. Реагируя при нагревании с графитом, вещество В образует сложное, очень твердое вещество С, по твердости приближающееся к алмазу. Приведите уравнения реакций.

1670. Простое газообразное вещество А, весьма инертное, вступает с другим простым газообразным веществом В в реакцию при очень высокой температуре; образующийся при этом бесцветный газ С на воздухе моментально буреет. Напишите уравнения реакций.

1671. Белое тугоплавкое вещество А, по твердости приближающееся к алмазу, при сплавлении с гидросульфатом калия образует две соли. Если к водному раствору одной из образовавшихся солей (В) добавить гидроксид лития, образуется белый студенистый осадок, способный растворяться в избытке реактива. Напишите уравнения реакций.

1672. Твердая соль белого цвета А при обработке концентрированным раствором серной кислоты образует летучую кислоту В, которая при нагревании разлагается с выделением бурого газа С и бесцветного газа, входящего в состав воздуха. Напишите уравнения реакций.

1673. Металл А серебристо-белого цвета, реагирующий с разбавленными растворами кислот, но не реагирующий с концентрированными растворами серной и азотной кислот (на холоду), реагирует с простым газообразным веществом В, образует соединение С. Соединение С растворяется в соляной кислоте с образованием двух солей, отличающихся степенью окисления металла. Напишите уравнения реакций.

1674. Летучая кислота А при нейтрализации гидроксидом калия дает соль В, которая при прокаливании выделяет газ, поддерживающий горение, и другую соль С. Напишите уравнения реакций.

1675. Металл А красного цвета, не реагирующий с разбавленным раствором кислоты В, вступает в реакцию с концентрированным раствором кислоты В с образованием газа С с резким запахом. При взаимодействии газа С со щелочью образуется соль, водный раствор которой имеет щелочную реакцию среды. Приведите уравнения реакций.

1676. При нагревании соли А, используемой в пищевой промышленности, образуются соль В и бесцветный газ без запаха С. При действии на соль В соляной кислоты выделяется газ С. Напишите уравнения реакций.

1677. Нерастворимое в воде соединение А белого цвета на воздухе тотчас зеленеет, а затем буреет, переходя в соединение В бурого цвета. Соединение В при нагревании разлагается с образованием воды и соединения С, которое восстанавливается оксидом углерода (II) до металла. Напишите уравнения реакций.

1678. Простое газообразное вещество А желто-зеленого цвета с резким запахом, растворяясь в воде, образует смесь кислот, из которых с течением времени в растворе остается только одна — В. При прибавлении к кислоте В раствора нитрата серебра образуется белый творожистый осадок, не растворимый в кислотах. Напишите уравнения реакций.

1679. При действии на водный раствор соли А соляной кислоты образуется белый студенистый осадок непрочного соединения В, которое постепенно разлагается на воду и соединение С, широко распространенное в природе в двух формах — кристаллической и аморфной. Приведите уравнения реакций.

1680. Металл А, достаточно инертный в химическом отношении, поскольку покрыт инертной пленкой, реагирует с раствором гидроксида калия, при этом выделяется водород и образуется соль В. При добавлении к соли В азотной кислоты образуется новая соль (С). Напишите уравнения реакций.

1681. Простое газообразное вещество А желто-зеленого цвета с резким запахом реагирует с металлом В красного цвета, в результате реакции образуется вещество С, при действии на водный раствор которого гидроксида натрия выделяется голубой студенистый осадок. Напишите уравнения реакций.

1682. Нерастворимое в воде вещество А черно-коричневого цвета реагирует с концентрированной соляной кислотой с выделением газообразного продукта. Образующаяся при этом соль В реагирует с раствором гидроксида лития, при этом образуется студенистый осадок вещества С. При нагревании вещества

С в отсутствие кислорода образуется вещество D, которое в реакции с соляной кислотой образует вещество B, но эта реакция не сопровождается выделением газа. Напишите уравнения реакций.

1683. Бесцветный газ A с резким запахом хорошо растворяется в воде. При взаимодействии водного раствора этого газа с цинком выделяется горючий газ B, который при пропускании над твердым веществом C черного цвета превращает его в простое вещество красного цвета. Напишите уравнения реакций.

1684. Серебристо-белый легкий металл A, взаимодействуя с кислородом, образует оксид B, который растворяется в избытке гидроксида калия, образуя соединение C. Напишите уравнения реакций.

1685. Бурый газ A реагирует с водой в присутствии кислорода с образованием кислоты B, при добавлении которой к фосфату кальция происходит его растворение с образованием двух солей: кислой C и средней; обе соли используются в качестве простых удобрений. Напишите уравнения реакций.

1686. К желтому раствору соли A добавляют алюминий, в результате чего образуется металл B, реагирующий с хлором с образованием соли C. B реакции с соляной кислотой металл B образует соль, отличающуюся от соли C степенью окисления металла. Напишите уравнения реакций.

1687. Соль A представляет собой белое, хорошо растворимое в воде соединение. При прибавлении к водному раствору этой соли нитрата серебра образуется белый осадок. При добавлении к такому же раствору по каплям раствора гидроксида натрия образуется белый студенистый осадок вещества B. При его прокаливании образуется белое тугоплавкое вещество C, по твердости приближающееся к алмазу. Напишите уравнения реакций.

1688. При пропускании бесцветного газа A без запаха над простым веществом B при высокой температуре образуется только одно вещество C. Оно применяется для восстановления металлов из их оксидов. Напишите уравнения реакций.

1689. Кристаллическое вещество A оранжевого цвета при прокаливании образует только одно твердое вещество B. Это вещество зеленого цвета, нерастворимое в воде. При сплавлении вещества B с солью C выделяется углекислый газ и образуется соль D. Напишите уравнения реакций.

1690. Бесцветный, легко сжижающийся газ A без запаха, реагирует с водным раствором соединения B, при этом сначала раствор мутнеет (образуется нерастворимое соединение C), а затем при пропускании избытка газа A ранее выпавший осадок растворяется. Напишите уравнения реакций.

1691. Белое, не растворимое в воде, но растворимое в щелочах вещество A, реагирует с серной кислотой, образуя соль B.

При добавлении магния к водному раствору этой соли образуется металл С, достаточно инертный в химическом отношении, поскольку покрыт инертной пленкой. Напишите уравнения реакций (один из возможных вариантов).

1692. Бесцветный газ А без запаха, образующий с кислородом взрывоопасную смесь, реагирует при освещении с простым газообразным веществом В желто-зеленого цвета со взрывом, образуя при этом бесцветный газ С с резким запахом. Водный раствор вещества С, действуя на сульфид натрия, выделяет ядовитый газ с неприятным запахом. Напишите уравнения реакций.

1693. Кристаллическое вещество А ярко-красного цвета при растворении в щелочи образует соль В желтого цвета. Под действием кислоты вещество В превращается в соль (С). Соль С реагирует с концентрированной соляной кислотой, при этом выделяется газ желто-зеленого цвета. Напишите уравнения реакций.

1694. Вещество А, входящее в состав одного из самых распространенных в земной коре минералов, разлагается при высокой температуре на два оксида, один из которых В всегда образуется в процессе жизнедеятельности. При взаимодействии вещества В с графитом при нагревании получается токсичный для теплокровных животных газ С, без цвета и запаха, горючий. Напишите уравнения реакций.

1695. Серебристо-белый металл А реагирует с разбавленным раствором серной кислоты с образованием соли В. При добавлении к водному раствору соли В щелочи образуется белый хлопьевидный осадок, на воздухе тотчас же зеленеющий и быстро приобретающий бурый цвет. Напишите уравнения реакций.

1696. Вещество Х, образующееся при взаимодействии двух простых веществ, вступает в реакции как с хлором (в избытке), так и с хлороводородом. В результате обеих реакций получается одно и то же белое, растворимое в воде вещество. Предложите возможную формулу вещества Х и напишите уравнения реакций.

1697. Соль Х получается при взаимодействии двух простых веществ. При действии на соль Х простого вещества образуется смесь веществ, каждое из которых реагирует со щелочью. Один из продуктов взаимодействия со щелочью — не растворимое в воде вещество синего цвета, превращающееся при прокаливании в вещество черного цвета. Предложите возможную формулу вещества Х и напишите уравнения реакций.

1698. Вещество Х, получающееся при взаимодействии двух простых веществ, полностью растворяется в разбавленной серной кислоте с образованием бесцветного раствора. При добавлении к полученному раствору порознь избытка карбоната калия и избытка гидроксида калия выпадают осадки белого цвета.

Предложите возможную формулу вещества X и напишите уравнения реакций.

1699. Вещество X, получаемое при взаимодействии двух простых веществ, в реакции с водой образует два сложных вещества, каждое из которых порознь реагирует со щелочью, образуя бесцветные растворы. Предложите возможную формулу вещества X и напишите уравнения реакций.

1700. Вещество X, получаемое при взаимодействии двух простых веществ, в реакции с избытком серной кислоты на холоду образует раствор, который способен в кислой среде как к реакции с перманганатом калия, сопровождающейся его обесцвечиванием, так и с иодидом калия, сопровождающейся появлением желтого окрашивания. Предложите возможную структуру вещества X и напишите уравнения реакций.

Окислительно-восстановительные реакции (повышенной сложности)

1701. Приведите примеры окислительно-восстановительных реакций, протекающих в водном растворе, в которых: а) окислителем является соль, содержащая натрий; б) окислителем является соль, содержащая хлорид-ион.

1702. Приведите примеры уравнения окислительно-восстановительных реакций в молекулярной форме, в сокращенных ионных уравнениях которых: а) в левой части находится ион бария, а в правой — соединение бария; б) в правой части находится ион водорода; в) в правой части находится гидроксид-ион.

1703. Приведите пример окислительно-восстановительной реакции, в которой принимают участие вещества, содержащие атомы только кислорода, углерода и натрия и в ходе которой изменяется степень окисления только одного элемента.

1704. Приведите пример окислительно-восстановительной реакции, в которой принимают участие вещества, содержащие атомы только кислорода, водорода и калия и в ходе которой изменяется степень окисления только одного элемента.

1705. Приведите пример окислительно-восстановительной реакции, в которой принимают участие вещества, содержащие атомы только кислорода, водорода и серы и в ходе которой изменяется степень окисления только одного элемента.

1706. Приведите примеры окислительно-восстановительных реакций между двумя веществами молекулярного строения, в которых: а) молярная масса восстановителя больше молярной массы окислителя; б) молярная масса восстановителя меньше молярной массы окислителя.

1707. Приведите по одному примеру реакций между двумя кислотами, в ходе каждой из которых образуется простое вещество: а) твердое (при н.у.); б) жидкое (при н.у.).

1708. Приведите примеры реакций, в ходе которых атом-окислитель принимает 1 электрон, а атом-восстановитель отдает: а) $1e^-$; б) $2e^-$; в) $3e^-$; г) $4e^-$; д) $5e^-$; е) $6e^-$; ж) $8e^-$.

1709. Приведите примеры реакций, в ходе которых атом-окислитель принимает 2 электрона, а атом-восстановитель отдает: а) $1e^-$; б) $2e^-$; в) $3e^-$; г) $4e^-$; д) $5e^-$; е) $8e^-$.

1710. Приведите примеры реакций, в ходе которых атом-окислитель принимает 3 электрона, а атом-восстановитель отдает: а) $1e^-$; б) $2e^-$; в) $3e^-$; г) $4e^-$; д) $8e^-$.

1711. Приведите примеры реакций, в ходе которых атом-окислитель принимает 4 электрона, а атом-восстановитель отдает: а) $1e^-$; б) $2e^-$; в) $4e^-$; г) $5e^-$; д) $8e^-$.

1712. Приведите примеры реакций, в ходе которых атом-окислитель принимает 5 электронов, а атом-восстановитель отдает: а) $1e^-$; б) $2e^-$; в) $3e^-$; г) $4e^-$.

1713. Приведите примеры реакций, в ходе которых атом-окислитель принимает 6 электронов, а атом-восстановитель отдает: а) $1e^-$; б) $2e^-$; в) $3e^-$; г) $4e^-$; д) $5e^-$; е) $6e^-$.

1714. Приведите примеры реакций, в ходе которых атом-окислитель принимает 8 электронов, а атом-восстановитель отдает: а) $1e^-$; б) $2e^-$; в) $3e^-$.

1715. Составьте уравнения реакций по схеме $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$, в которой все вещества содержат азот: а) в первой реакции один из атомов принимает 2 электрона, во второй — один из атомов отдает 2 электрона, в третьей — один из атомов отдает 1 электрон; б) в первой реакции один из атомов отдает 2 электрона, вторая и третья реакции являются внутримолекулярными окислительно-восстановительными реакциями; в) в первой реакции один из атомов отдает 1 электрон, вторая и третья — реакции диспропорционирования; г) в первой реакции один из атомов отдает 3 электрона, во второй — один из атомов принимает 2 электрона; третья — реакция диспропорционирования; д) в первой реакции один из атомов отдает 1 электрон, во второй — один из атомов принимает 5 электронов, в третьей — один из атомов принимает 3 электрона; е) первая реакция — внутримолекулярная окислительно-восстановительная реакция, во второй реакции один из атомов принимает 2 электрона, в третьей — один из атомов отдает 2 электрона; ж) первая реакция — внутримолекулярная окислительно-восстановительная реакция, вторая — реакция диспропорционирования, в третьей реакции один из атомов отдает 2 электрона; з) в первой реакции один из атомов отдает 5 электронов, во второй — один из атомов принимает 3 электрона, в третьей — один из атомов отдает 5 электронов.

1716. Составьте уравнения реакций по схеме A→B→C→D, в которой все вещества содержат серу: а) первая реакция — внутримолекулярная окислительно-восстановительная реакция, во второй реакции один из атомов отдает 4 электрона, в третьей — один из атомов принимает 2 электрона; б) в первой реакции один из атомов отдает 1 электрон, во второй — один из атомов принимает 2 электрона, в третьей — один из атомов отдает 2 электрона; в) в первой реакции один из атомов отдает 6 электронов, во второй — один из атомов принимает 4 электрона, в третьей — один из атомов отдает 3 электрона; г) в первой реакции один из атомов отдает 8 электронов, во второй — один из атомов принимает 2 электрона, в третьей — один из атомов отдает 2 электрона; д) в первой реакции один из атомов отдает 2 электрона, во второй — один из атомов принимает 8 электронов, в третьей — один из атомов отдает 2 электрона.

1717. Составьте уравнения реакций по схеме A→B→C→D, в которой все вещества содержат хлор: а) в первой реакции один из атомов принимает 3 электрона, вторая — реакция диспропорционирования, а третья — внутримолекулярная окислительно-восстановительная реакция; б) в первой реакции один из атомов принимает 5 электронов, вторая — реакция диспропорционирования, в третьей реакции один из атомов принимает 2 электрона; в) в первой реакции один из атомов принимает 2 электрона, во второй — один из атомов отдает 3 электрона, в третьей — один из атомов отдает 1 электрон; г) в первой реакции один из атомов отдает 3 электрона, во второй — один из атомов отдает 2 электрона, в третьей — один из атомов отдает 1 электрон.

1718. Составьте уравнения реакций по схеме A→B→C→D, в которой все вещества содержат кислород: а) в первой реакции один из атомов отдает 1 электрон, во второй — один из атомов принимает 1 электрон, в третьей — один из атомов отдает 5 электронов; б) в первой реакции один из атомов принимает 5 электронов, во второй — один из атомов отдает 2 электрона, в третьей — один из атомов отдает 3 электрона.

1719. Составьте уравнения реакций по схеме A→B→C→D, в которой все вещества содержат водород. В первой реакции один из атомов принимает 1 электрон, во второй — один из атомов отдает 1 электрон, в третьей — один из атомов отдает 6 электронов.

1720. Составьте уравнения реакций по схеме A→B→C→D, в которой все вещества содержат железо: а) в первой реакции один из атомов принимает 1 электрон, во второй — один из атомов отдает 1 электрон, в третьей — один из атомов принимает 2 электрона; б) в первой реакции один из атомов отдает 5 электронов, а другой атом отдает 1 электрон, во второй реак-

ции один из атомов принимает 3 электрона, в третьей — один из атомов отдает 2 электрона; в) в первой реакции один из атомов принимает 2 электрона, а другой атом принимает 3 электрона, во второй реакции один из атомов принимает 1 электрон, в третьей — один из атомов отдает 1 электрон.

1721. Составьте уравнения реакций по схеме A→B→C→D, в которой все вещества содержат хром: а) в первой реакции один из атомов отдает 3 электрона, во второй — один из атомов принимает 1 электрон, в третьей — один из атомов отдает 3 электрона; б) в первой реакции один из атомов принимает 3 электрона, во второй — один из атомов отдает 2 электрона, в третьей — один из атомов принимает 1 электрон.

1722. Составьте уравнения реакций по схеме A→B→C→D, в которой все вещества содержат углерод. В первой реакции один из атомов принимает 2 электрона, во второй — один из атомов отдает 2 электрона, третья реакция — реакция диспропорционирования.

1723. Составьте уравнения реакций по схеме A→B→C→D, в которой все вещества содержат натрий. В первой реакции один из атомов отдает 2 электрона, во второй — один из атомов принимает 1 электрон, третья реакция — реакция диспропорционирования.

1724. Составьте уравнения реакций по схеме A→B→C→D, в которой все вещества содержат медь. В первой реакции один из атомов принимает 1 электрон, во второй — один из атомов отдает 3 электрона, в третьей — один из атомов принимает 2 электрона.

1725. Составьте уравнения реакций по схеме A→B→C→D, в которой все вещества содержат цинк. В первой реакции один из атомов отдает 3 электрона, во второй — один из атомов принимает 2 электрона, в третьей — один из атомов отдает 6 электронов.

1726. Напишите уравнение реакции, в которую вступают иодоводород и концентрированная серная кислота в молярном соотношении: а) 5 : 1, в ходе которой образуются сера и оксид серы (IV); б) в молярном соотношении 7,5 : 1, в ходе которой образуются сера и сероводород.

1727. Напишите уравнение реакции между перманганатом калия и сульфитом калия в щелочном растворе, в ходе которой образуются манганат калия и оксид марганца (IV) в молярном соотношении: а) 2 : 1; б) 1 : 1.

1728. Напишите уравнение реакции между сероводородом и серной кислотой в водном растворе, в ходе которой образуются оксид серы (IV) и сера в молярном соотношении: а) 2 : 1; б) 1 : 2.

1729. Напишите уравнение реакции горения сероводорода при условии, что молярное соотношение сероводорода и кислорода равно 4 : 3.

1730. Напишите уравнение реакции между перманганатом калия и пероксидом водорода в водном растворе серной кислоты, в ходе которой образуются кислород и сульфат марганца (II) в молярном соотношении: а) 2 : 1; б) 3 : 1; в) 1 : 1.

1731. Напишите уравнение реакции между хлоратом калия и графитом, в ходе которой образуются оксид углерода (IV) и оксид углерода (II) в молярном соотношении 7 : 1.

1732. Напишите уравнение реакции, в которую вступают хлорат калия и сера в молярном соотношении 1 : 1.

1733. Напишите уравнение реакции между хлором и водным раствором: а) гидроксида натрия, в ходе которой в хлорид натрия превращается $^3/_4$ вступившей в реакцию щелочи; б) гидроксида калия, в ходе которой образуются хлорат калия и гипохлорит калия в молярном соотношении 3 : 1; в) гидроксида калия, в ходе которой образуются хлорат калия и гипохлорит калия в молярном соотношении 1 : 2.

1734. Напишите уравнение реакции между силицидом магния и соляной кислотой, в ходе которой образуются: а) силан и оксид кремния (IV) в молярном соотношении 1 : 1; б) водород и силан в молярном соотношении 16 : 1.

1735. Напишите уравнение реакции между магнием и оксидом кремния (IV), в ходе которой образуются силицид магния и кремний в молярном соотношении 1 : 1.

1736. Напишите уравнение реакции, в которую вступают цинк и азотная кислота, в которой образуются: а) оксид азота (I) и оксид азота (II) в молярном соотношении 1,5 : 1; б) оксид азота (I) и нитрат аммония в молярном соотношении 1 : 2,5.

1737. Напишите уравнение реакции, в которую вступают алюминий и азотная кислота, в ходе которой образуются нитрат аммония и оксид азота (I) в молярном соотношении 2 : 1.

1738. Напишите уравнение реакции между сульфидом меди (I) и кислородом, в ходе которой образуются оксид серы (IV) и сульфат меди (II) в молярном соотношении 8 : 1.

1739. Напишите уравнение реакции между сульфидом цинка и кислородом, в ходе которой образуются оксид серы (IV) и сульфат цинка в молярном соотношении 6 : 1.

1740. Напишите уравнение реакции между оксидом меди (II) и оксидом углерода (II), в ходе которой до меди восстанавливается $^2/_3$ вступившего в реакцию оксида меди.

1741. Напишите уравнение реакции термического разложения нитрата кальция, в ходе которой образуются оксид азота (IV) и кислород в молярном соотношении 3 : 1.

1742. Напишите уравнение реакции термического разложения нитрата бария, в ходе которой образуются оксид азота (IV) и нитрит бария в молярном соотношении 16 : 1.

1743. Напишите уравнение реакции, протекающей между нитратом аммония и алюминием при нагревании, в ходе которой образуются нитрид алюминия и азот в молярном соотношении 1 : 1.

1744. В ходе реакции, в которой хлороводород проявляет окислительные свойства, получается вещество X, которое в обменной реакции с солью Y образует одновременно газообразное и не растворимое в воде соединения. Напишите уравнения обеих реакций (один из возможных вариантов ответа).

1745. В ходе реакции, в которой хлороводород проявляет окислительные свойства, получается вещество X, которое в реакции со щелочью может образовать разные продукты в зависимости от молярного соотношения реагентов. Напишите уравнения всех трех реакций (один из возможных вариантов ответа).

1746. В ходе реакции, в которой хлороводород проявляет восстановительные свойства, образуется вещество X, которое может вступать в реакцию соединения. Напишите уравнения обеих реакций (один из возможных вариантов ответа).

1747. В результате восстановления воды образуется вещество X, которое может вступать в реакцию соединения. Напишите уравнения обеих реакций (один из возможных вариантов ответа).

1748. В результате окисления воды образуется вещество X, которое может вступать в реакцию соединения. Напишите уравнения обеих реакций (один из возможных вариантов ответа).

1749. Элементная сера может получиться в результате: а) окисления вещества X; б) восстановления вещества Y. Напишите уравнения обеих реакций (один из возможных вариантов ответа).

1750. Оксид азота (II) может получиться в результате: а) окисления сложного вещества X; б) восстановления вещества Y. Напишите уравнения обеих реакций (один из возможных вариантов ответа).

1751. Оксид серы (IV) может получиться в результате: а) окисления вещества X; б) восстановления вещества Y. Напишите уравнения обеих реакций (один из возможных вариантов ответа).

1752. Аммиак может получиться в результате: а) восстановления вещества X; б) разложения вещества Y. Напишите уравнения обеих реакций (один из возможных вариантов ответа).

1753. Углекислый газ может получиться в результате: а) окисления сложного вещества X; б) реакции взаимодействия в водном

растворе двух солей Y и Z. Напишите уравнения обеих реакций (один из возможных вариантов ответа).

1754. Оксид фосфора (V) может получиться в результате: а) окисления сложного вещества X; б) восстановления простого вещества Y. Напишите уравнения обеих реакций (один из возможных вариантов ответа).

1755. Сульфит натрия в водном растворе вступает в две реакции с разными веществами, не содержащими в своем составе серы. В ходе одной из них получается вещество X, содержащее серу в степени окисления +4; в ходе другой — вещество Y, содержащее серу в степени окисления +6. Напишите уравнения обеих реакций (один из возможных вариантов ответа).

1756. Нитрит натрия в водном растворе вступает в две реакции с разными веществами, не содержащими в своем составе азота. В ходе одной из них получается вещество X, содержащее азот в степени окисления +5; в ходе другой — вещество Y, содержащее азот в степени окисления +2. Напишите уравнения обеих реакций (один из возможных вариантов ответа).

1757. Нитрат аммония вступает в реакцию, в ходе которой получается вещество X, содержащее азот в степени окисления +1. В ходе другой реакции с участием нитрата аммония образуется вещество Y, содержащее азот в степени окисления +5. Напишите уравнения обеих реакций (один из возможных вариантов ответа).

1758. Концентрированная серная кислота вступает в две реакции с разными веществами, не содержащими в своем составе серы. В ходе одной из них получается вещество X, содержащее серу в степени окисления −2; в ходе другой — вещество Y, содержащее серу в степени окисления +4. Напишите уравнения обеих реакций (один из возможных вариантов ответа).

1759. Азотная кислота вступает в две реакции с разными веществами, не содержащими в своем составе азота. В ходе одной из них получается вещество X, содержащее азот в степени окисления −3; в ходе другой — вещество Y, содержащее азот в степени окисления +4. Напишите уравнения обеих реакций (один из возможных вариантов ответа).

1760. Сероводород в реакции с веществом, не содержащим в составе серы, образует вещество X, содержащее серу в степени окисления +6. В ходе другой реакции с участием сероводорода образуется вещество Y, содержащее серу в степени окисления +4. Напишите уравнения обеих реакций (один из возможных вариантов ответа).

1761. В результате двух последовательных окислительно-восстановительных реакций был получен фосфид кальция. Напиши-

те уравнения реакций (один из возможных вариантов без использования электролиза).

1762. В результате двух последовательных окислительно-восстановительных реакций был получен гипохлорит калия. Напишите уравнения реакций (один из возможных вариантов без использования электролиза).

1763. В результате двух последовательных окислительно-восстановительных реакций был получен нитрит натрия. Напишите уравнения реакций (один из возможных вариантов без использования электролиза).

1764. В результате двух последовательных окислительно-восстановительных реакций был получен нитрат аммония. Напишите уравнения реакций (один из возможных вариантов без использования электролиза).

1765. Составьте уравнения двух окислительно-восстановительных реакций (кроме электролиза) по схеме:

а) соль A → соль B → оксид;
б) оксид → соль A → соль B;
в) соль A → оксид → соль B;
г) кислота — оксид → соль;
д) соль A → соль B → простое вещество;
е) соль A → простое вещество → соль B;
ж) простое вещество → соль A → соль B;
з) кислота → простое вещество → основание;
и) простое вещество A → кислота → простое вещество B.

1766. Напишите уравнения реакций взаимодействия твердого нитрата аммония при нагревании: а) с избытком магния; б) с фосфором.

1767. Напишите уравнения реакций, протекающих при нагревании с углем без доступа воздуха следующих смесей: а) гидрата дигидрофосфата кальция и оксида кремния; б) гидрофосфата бария и оксида алюминия. Укажите общее в этих реакциях и черты различия.

1768. Протекают ли реакции между следующими металлами и водными растворами солей: а) медью и хлоридом железа (III); б) цинком и хлоридом меди (II); в) серебром и сульфатом железа (II)? Напишите уравнения реакций и приведите необходимые пояснения.

1769. Напишите уравнения реакций взаимодействия фосфида цинка: а) с концентрированной азотной кислотой; б) с перманганатом калия в сильнощелочном растворе. Укажите общее в этих реакциях и черты различия.

1770. Напишите уравнение реакции, протекающей между газами, в ходе которой происходит изменение степеней окисления:

$$\overset{-3}{N} \rightarrow \overset{0}{N};\ \overset{0}{Cl} \rightarrow \overset{-1}{Cl}$$

1771. Напишите уравнение реакции, протекающей между газами, в ходе которой происходит изменение степеней окисления:

$$\overset{-3}{N} \rightarrow \overset{+2}{N};\ \overset{0}{O} \rightarrow \overset{-2}{O}$$

1772. Даны следующие вещества: сульфат железа (III), дисульфид железа (II), азотная кислота, гидроксид бария, железо, карбонат меди (II), оксид кремния (IV), вода. Напишите не менее трех окислительно-восстановительных реакций, протекающих попарно между предложенными веществами, и укажите условия их протекания.

1773. Даны следующие вещества: азотная кислота (концентрированная), гидрофосфат аммония, цинк, медь, гидроксид бария, оксид кремния (IV), хлорид калия, вода. Напишите такое число окислительно-восстановительных реакций с предложенными веществами, в ходе которых можно было бы получить семь разных соединений.

1774. Расположите иод, серу, перманганат калия, оксид серы (IV) в такую последовательность, в которой перечисленные вещества связаны только окислительно-восстановительными реакциями.

1775. Расположите оксид азота (IV), кислород, нитрат натрия, пероксид водорода в такую последовательность, в которой перечисленные вещества связаны только окислительно-восстановительными реакциями.

1776. Расположите оксид серы (IV), серу, сероводород, хлорид железа (III) в такую последовательность, в которой перечисленные вещества связаны только окислительно-восстановительными реакциями.

1777. Расположите хлор, кислород, хлорид калия, хлорат калия в такую последовательность, в которой перечисленные вещества связаны только окислительно-восстановительными реакциями.

1778. Расположите аммиак, азот, оксид азота (II), оксид азота (IV) в такую последовательность, в которой перечисленные вещества связаны только окислительно-восстановительными реакциями.

1779. Расположите хлор, бром, бромид алюминия, оксид марганца (IV) в такую последовательность, в которой перечисленные вещества связаны только окислительно-восстановительными реакциями.

1780. Расположите бромоводород, бромид алюминия, оксид марганца (IV) и хлор в такую последовательность, в которой

перечисленные вещества связаны только окислительно-восстановительными реакциями.

1781. Расположите хлорид железа (II), хлорид железа (III), бромид железа (II) и железо в такую последовательность, в которой перечисленные вещества связаны только окислительно-восстановительными реакциями.

1782. Расположите хром, оксид серы (IV), сульфат хрома (III) и хлорат калия в такую последовательность, в которой перечисленные вещества связаны только окислительно-восстановительными реакциями.

1783. Расположите хлор, кислород, дихромат калия и оксид железа (II, III) в такую последовательность, в которой перечисленные вещества связаны только окислительно-восстановительными реакциями.

1784. Расположите кислород, карбонат натрия, нитрат натрия и пероксид натрия в такую последовательность, в которой перечисленные вещества связаны только окислительно-восстановительными реакциями.

1785. Расположите карбонат натрия, два оксида углерода и графит в такую последовательность, в которой перечисленные вещества связаны только окислительно-восстановительными реакциями.

1786. Расположите гидрид натрия, гидроксид натрия, водород и натрий в такую последовательность, в которой перечисленные вещества связаны только окислительно-восстановительными реакциями.

1787. Расположите кислород, нитрат железа (II), оксид железа (II) и оксид железа (II, III) в такую последовательность, в которой перечисленные вещества связаны только окислительно-восстановительными реакциями.

1788. Четыре вещества содержат атомы одного элемента. Одно из них имеет в составе атом хлора в степени окисления $+1$, другое — атом натрия в степени окисления $+1$, третье — атом водорода в степени окисления -1, четвертое — атом кислорода в степени окисления -2. Расположите эти вещества в такую последовательность, в которой они будут связаны только окислительно-восстановительными реакциями. Напишите уравнения этих реакций.

1789. Четыре вещества содержат атомы одного элемента. Одно из них имеет в составе атом меди в степени окисления $+2$, другое — атом азота в степени окисления $+5$, третье — атом водорода в степени окисления $+1$, четвертое — атом кислорода в степени окисления -1. Расположите эти вещества в такую последовательность, в которой они будут связаны только окис-

лительно-восстановительными реакциями. Напишите уравнения этих реакций.

1790. Четыре вещества содержат атомы одного элемента. Одно из них имеет в составе атом кислорода в степени окисления -2, другое — атом железа в степени окисления $+2$, третье — атом серы в степени окисления $+6$, четвертое — атом водорода в степени окисления $+1$. Расположите эти вещества в такую последовательность, в которой они будут связаны только окислительно-восстановительными реакциями. Напишите уравнения этих реакций.

1791. Четыре вещества содержат атомы одного элемента. Одно из них имеет в составе атом серы в степени окисления -2, другое — атом железа в степени окисления $+3$, третье — атом кислорода в степени окисления -2, четвертое — атом водорода в степени окисления $+1$. Расположите эти вещества в такую последовательность, в которой они будут связаны только окислительно-восстановительными реакциями. Напишите уравнения этих реакций.

1792. Четыре вещества содержат атомы одного элемента. Одно из них имеет в составе атом кислорода в степени окисления -2, другое — атом азота в степени окисления $+3$, третье — атом углерода в степени окисления $+4$, четвертое — атом натрия в степени окисления $+1$. Расположите эти вещества в такую последовательность, в которой они будут связаны только окислительно-восстановительными реакциями. Напишите уравнения этих реакций.

1793. Четыре вещества содержат атомы одного элемента. Одно из них имеет в составе атом азота в степени окисления $+5$, другое — атом углерода в степени окисления $+2$, третье — атом кислорода в степени окисления -2, четвертое — атом железа в степени окисления $+2$. Расположите эти вещества в такую последовательность, в которой они будут связаны только окислительно-восстановительными реакциями. Напишите уравнения этих реакций.

1794. Четыре вещества содержат атомы одного элемента. Одно из них имеет в составе атом цинка в степени окисления $+2$, другое — атом водорода в степени окисления $+1$, третье — атом кислорода в степени окисления -2, четвертое — атом серы в степени окисления $+4$. Расположите эти вещества в такую последовательность, в которой они будут связаны только окислительно-восстановительными реакциями. Напишите уравнения этих реакций.

1795. Четыре вещества содержат атомы одного элемента. Одно из них имеет в составе атом меди в степени окисления $+1$,

другое — атом серы в степени окисления +6, третье — атом азота в степени окисления +5, четвертое — атом иода в степени окисления −1. Расположите эти вещества в такую последовательность, в которой они будут связаны только окислительно-восстановительными реакциями. Напишите уравнения этих реакций.

1796. Вещество А содержит атом иода в степени окисления −1, вещество В — атом серы в степени окисления +6, вещество С — атом серы в степени окисления −2. Приведите три уравнения реакций (А+В; В+С; А+С; в реакциях может принимать участие также вода), две из которых являются окислительно-восстановительными, а одна протекает без изменения степеней окисления элементов.

1797. Вещество А содержит атом азота в степени окисления +4, вещество В — атом серы в степени окисления +4, вещество С — атом углерода в степени окисления +4. Приведите три уравнения реакций (А+В; В+С; А+С; реакции могут протекать в водной среде), две их которых являются окислительно-восстановительными, а одна протекает без изменения степеней окисления элементов.

1798. Вещество А содержит атом марганца в степени окисления +7, вещество В — атом серы в степени окисления +4, вещество С — атом серы в степени окисления −2. Приведите уравнения трех окислительно-восстановительных реакций (А+В; В+С; А+С; в реакциях может принимать участие также вода).

1799. Вещество А содержит атом марганца в степени окисления +7, вещество В — атом серы в степени окисления +4, вещество С — атом кислорода в степени окисления −1. Приведите уравнения трех окислительно-восстановительных реакций (А+В; В+С; А+С; в реакциях может принимать участие также вода).

1800. Вещество А содержит атом азота в степени окисления +3, вещество В — атом азота в степени окисления −3, вещество С — атом водорода в степени окисления +1. Приведите три уравнения реакции (А+В; В+С; А+С; в реакциях может принимать участие также вода), две их которых являются окислительно-восстановительными, а одна протекает без изменения степеней окисления элементов.

1801. Вещество А содержит атом брома в степени окисления −1, вещество В — атом серы в степени окисления +4, вещество С — атом марганца в степени окисления +7. Приведите три уравнения реакции (А+В; В+С; А+С; в реакциях может принимать участие также вода), две из которых являются окислительно-восстановительными, а одна протекает без изменения степеней окисления элементов.

Составление уравнений реакций по схемам

1802. Составьте уравнения реакций в соответствии со схемой:

а) Разложение карбоната → X + ...
б) Разложение нитрата → Y + ...

в) $X + Y \xrightarrow{t} Соль$

1803. Составьте уравнения реакций в соответствии со схемой:

а) Разложение гидроксида → X + ...
б) Разложение карбоната → Y + ...

в) $X + Y \xrightarrow{t} Соль$

1804. Составьте уравнения реакций в соответствии со схемой:

а) A + B → E + F
б) C + D → E + G

Все вещества в схеме — соли.

1805. Составьте уравнения реакций в соответствии со схемой:

а) $Соль\ A \xrightarrow{t} X + H_2O + ...$

б) $Соль\ B \xrightarrow{t} O_2 + Y + ...$

в) $X + Y \xrightarrow{t} Соль + ...$

1806. Составьте уравнения реакций в соответствии со схемой:

а) Соль A + Вода → X + ...
б) Соль B + Кислота → Y + ...

в) $X + Y \xrightarrow{t} Вода + ...$

1807. Составьте уравнения реакций в соответствии со схемой:

а) Кислота A + Металл B → X + ...
б) Кислота C + Металл B → Y + ...

в) $X + Y \xrightarrow{t} Два\ оксида$

1808. Составьте уравнения реакций в соответствии со схемой:

а) Соль A + Основание → X + ...
б) Соль A + Кислота → Y + ...
в) X + Y + Вода → Соль

1809. Составьте уравнения реакций в соответствии со схемой:

а) A + B → X
б) C + D → Y

в) X + Y → Газ и осадок (одновременно)

A, B, C, D — простые вещества.

1810. Составьте уравнения реакций в соответствии со схемой:

а) Соль A + Простое вещество B → X + ...

б) Соль A + Простое вещество C → Y + ...

в) X + Y → Z

1811. Составьте уравнения реакций в соответствии со схемой:

а) Реакция нейтрализации → X + ...

б) Реакция замещения → Y + ...

в) X + Y → Две соли

1812. Составьте уравнения реакций в соответствии со схемой:

а) Неметалл A + Кислота B → Три оксида

б) Металл C + Кислота B → Соль + Простое вещество

в) A + C → Сложное вещество

1813. Составьте уравнения реакций в соответствии со схемой:



1814. Составьте уравнения реакций, протекающих без изменения степеней окисления элементов, по схеме:

Средняя соль A → Вещество B → Вещество C → Средняя соль D.

Элементы, входящие в состав A, не входят в состав соли D. Выберите самостоятельно вещество A, а в качестве реактивов обязательно используйте три вещества из набора: серная кислота, аммиак, нитрат серебра, сероводород, нитрат натрия. Можно использовать воду как растворитель.

1815. Составьте уравнения реакций, протекающих без изменения степеней окисления элементов, по схеме:

Кислая соль A → Вещество B → Вещество C → Средняя соль D.

Соли A и D имеют общий катион, но элементы, образующие анионы, в солях A и D не повторяются. Выберите самостоятельно вещество A, а в качестве реактивов обязательно используйте три вещества из набора: гидроксид калия, гидроксид кальция,

гидроксид магния, хлорид аммония, сульфат аммония. Можно использовать воду как растворитель.

1816. Составьте уравнения реакций, протекающих без изменения степеней окисления элементов, по схеме:

Слабое основание A→Вещество B→Вещество C→Основный оксид D.

Элементы, входящие в состав A, не входят в состав D. Выберите самостоятельно вещество A, а в качестве реактивов обязательно используйте два вещества из набора: углекислый газ, хлорид цинка, нитрат бария, оксид углерода (II), оксид фосфора (V). Часть реакций может протекать в водной среде.

1817. Составьте уравнения реакций, протекающих без изменения степеней окисления элементов, по схеме:

Сильная кислота A→Вещество B→Вещество C→Слабая кислота D.

Выберите самостоятельно вещество A, а в качестве реактива обязательно используйте два вещества из набора: дигидрофосфат аммония, нитрат серебра, гидроксид натрия, гидрофосфат натрия, сульфид меди (II). Часть реакций может протекать в водной среде.

1818. Составьте уравнения реакций, протекающих без изменения степеней окисления элементов, по схеме:

Основный оксид A→Вещество B→Вещество C→Кислотный оксид D.

Выберите самостоятельно вещество A, а в качестве реактивов обязательно используйте два вещества из набора: карбонат калия, иодид калия, гидроксид бария, хлороводород, азотная кислота. Часть реакций может протекать в водной среде.

1819. Составьте уравнения реакций, протекающих без изменения степеней окисления элементов, по схеме:

Кислотный оксид A→Вещество B→Вещество C→Кислотный оксид D.

Оксиды A и D образованы одним элементом, но в разных степенях окисления. Выберите самостоятельно вещество A, а в качестве реактивов обязательно используйте три вещества из набора: хлороводород, азотная кислота, оксид магния, оксид бария, сульфит натрия. Часть реакций может протекать в водной среде.

1820. Составьте уравнения реакций, протекающих в водной среде без изменения степеней окисления, по схеме:

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow F$$

Вещества в схеме не повторяются, все представляют собой средние соли. Соли A и F содержат в составе водород.

1821. Составьте уравнения реакций, протекающих в водной среде без изменения степеней окисления, по схеме:

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow F$$

Вещества в схеме не повторяются, все представляют собой средние соли. Соли B и E содержат в составе водород.

1822. Составьте уравнения реакций, протекающих в водной среде без изменения степеней окисления, по схеме:

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow F$$

Вещества в схеме не повторяются, все представляют собой средние соли. Соли C и D содержат в составе водород.

1823. Составьте пять уравнений реакций замещения по схеме: A (содержит иод) → B (содержит бром) → C (содержит бром) → D (содержит бром) → E (содержит бром) → F (содержит хлор).

Вещества в схеме не повторяются, все представляют собой средние соли.

1824. Составьте уравнения реакций, протекающих без изменения степеней окисления, по схеме:

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow F$$

Вещества в схеме не повторяются, все представляют собой средние соли. Соли A, B, C содержат в составе серу, соли D, E, F — магний.

1825. Составьте уравнения реакций, протекающих без изменения степеней окисления, по схеме:

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow F$$

Вещества в схеме не повторяются, все представляют собой средние соли. Соли A, B, C содержат в составе магний, соли D, E, F — серу.

1826. Составьте уравнения реакций, протекающих без изменения степеней окисления, по схеме:

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow F$$

Вещества в схеме не повторяются, все представляют собой средние соли. Соли A, C, E содержат в составе серу, соли B, D, F — магний.

1827. Составьте уравнения реакций, протекающих без изменения степеней окисления, по схеме:

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow F$$

Вещества в схеме не повторяются, все представляют собой соли. Соли A — E содержат в составе углерод, соль F — алюминий.

1828. Составьте уравнения реакций по схеме

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow F$$

Вещества в схеме не повторяются, все представляют собой соли. Соли A — E содержат в составе азот, соль F — цинк.

1829. Составьте уравнения реакций по схеме:

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow F$$

Вещества в схеме не повторяются, все представляют собой средние соли. Соли A — E содержат в составе натрий, соль F — хром.

1830. Составьте уравнения реакций, протекающих в водной среде, по схеме: A (содержит железо) → B (содержит бром) → C (содержит бром) → D (содержит железо) → E (содержит азот) → F (содержит азот).

Вещества в схеме не повторяются, все представляют собой средние соли.

1831. Составьте уравнения реакций, протекающих в водной среде, по схеме: A (содержит железо) → B (содержит хлор) → C (содержит хлор) → D (содержит железо) → E (содержит серу) → F (содержит серу).

Вещества в схеме не повторяются, все представляют собой средние соли.

1832. Составьте уравнения реакций, протекающих в водной среде, по схеме: A (содержит хлор) → B (содержит хлор) → C (содержит серу) → D (содержит серу) → E (содержит азот) → F (содержит азот).

Вещества в схеме не повторяются, все представляют собой средние соли.

1833. Составьте уравнения реакций, протекающих в водной среде без изменения степеней окисления, по схеме: A (содержит фосфор) → B (содержит азот) → C (содержит фосфор) → D (содержит натрий) → E (содержит фосфор) → F (содержит кальций).

Вещества в схеме не повторяются, все представляют собой соли.

1834. Составьте уравнения реакций, протекающих в водной среде без изменения степеней окисления, по схеме: A (содержит азот) → B (содержит фосфор) → C (содержит калий) → D (содержит калий) → E (содержит фосфор) → F (содержит азот).

Вещества в схеме не повторяются, все представляют собой соли.

1835. Составьте уравнения реакций, протекающих в водной среде без изменения степеней окисления, по схеме: A (содержит азот) → B (содержит азот) → C (содержит фосфор) → D (содержит фосфор) → E (содержит барий) → F (содержит барий).

Вещества в схеме не повторяются, все представляют собой соли.

1836. Составьте уравнения реакций, протекающих в водной среде без изменения степеней окисления, по схеме:

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow F$$

Вещества в схеме не повторяются; A, C, E — галогенсодержащие соли; B, D, F — средние соли, не содержащие галогены.

1837. Составьте уравнения реакций, протекающих в водной среде без изменения степеней окисления, по схеме:

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow F$$

Вещества в схеме не повторяются; A, C, E — нерастворимые соединения, не содержащие галогены; B, D, F — галогенсодержащие соли.

1838. Составьте уравнения реакций, протекающих в водной среде, по схеме:

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow F$$

Вещества в схеме не повторяются; A, B, E, F — галогенсодержащие соли; C и D — нерастворимые соединения, не содержащие галогены.

1839. Составьте уравнения реакций, протекающих в водной среде без изменения степеней окисления, по схеме:

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow F$$

Вещества в схеме не повторяются, все представляют собой средние азотсодержащие соли.

1840. Составьте уравнения реакций, протекающих в водной среде без изменения степеней окисления, по схеме:

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow F$$

Вещества в схеме не повторяются, все представляют собой углеродсодержащие соли.

1841. Составьте уравнения реакций, протекающих в водной среде без изменения степеней окисления, по схеме:

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow F$$

Вещества в схеме не повторяются, все представляют собой серосодержащие соли.

1842. Составьте уравнения реакций, протекающих в водной среде, по схеме:

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow F$$

Вещества в схеме не повторяются; A, C, E — соли, а B, D, F — основания.

1843. Составьте уравнения реакций, протекающих в водной среде, по схеме:

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow F$$

Вещества в схеме не повторяются; A, B, C — одноосновные кислоты, а D, E, F — многоосновные кислоты.

1844. Составьте уравнения реакций, протекающих в водной среде без изменения степеней окисления, по схеме:

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow F$$

Вещества в схеме не повторяются; A и F — соединения, содержащие азот, все остальные вещества — основания.

1845. Составьте уравнения реакций, протекающих в водной среде без изменения степеней окисления, по схеме:

$$XA_2 \rightarrow XB \rightarrow XC_2 \rightarrow XD \rightarrow XE_2 \rightarrow XF$$

Все вещества — средние соли; X — катион; A — F — анионы.

1846. Составьте уравнения реакций, протекающих в водной среде без изменения степеней окисления, по схеме:

$$XA \rightarrow XB \rightarrow XC \rightarrow XD_2 \rightarrow XE_2 \rightarrow XF_2$$

Вещества не повторяются; X — катион; A, B, C, D, E, F — анионы.

1847. Составьте уравнения реакций, протекающих в водной среде, по схеме:

$$XA_2 \rightarrow XB_2 \rightarrow XC_2 \rightarrow XD \rightarrow XE \rightarrow XF$$

Все вещества — средние соли; X — катион; A, B, C, D, E, F — анионы.

1848. Составьте уравнения реакций по схеме:

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow \text{Нитрат натрия} \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow F$$

A, B, C, D, E, F — сложные вещества, содержащие натрий. Каждое последующее в схеме вещество имеет относительную молекулярную массу больше, чем предыдущее.

1849. Составьте уравнения реакций по схеме:

$$\text{Фосфат калия} \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow \text{Хлорид калия}$$

A, B, C, D — сложные вещества, содержащие калий. Каждое последующее в схеме вещество имеет относительную молекулярную массу меньше, чем предыдущее.

1850. Составьте уравнения реакций по схеме:

$$A \rightarrow CaC_2 \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow Ca(NO_3)_2 \rightarrow F$$

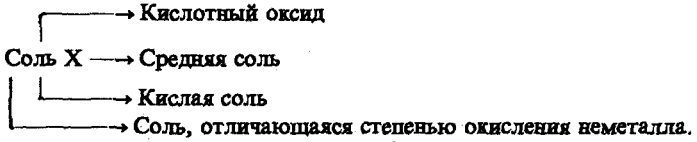
A, B, C, D, E, F — сложные вещества, содержащие кальций. Каждое последующее в схеме вещество имеет относительную молекулярную массу больше, чем предыдущее.

1851. Составьте уравнения реакций по схеме:

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow F \rightarrow G \rightarrow H$$

A, B, C, D, E, F, G, H — сложные вещества, содержащие цинк. Каждое последующее в схеме вещество имеет относительную молекулярную массу меньше, чем предыдущее.

1852. Приведите один пример соли X, из которой можно получить следующие вещества, и уравнения реакций (одна стрелка — одна реакция):



В состав всех солей входит один и тот же неметалл.

1853. Напишите уравнения реакций в соответствии со схемой:

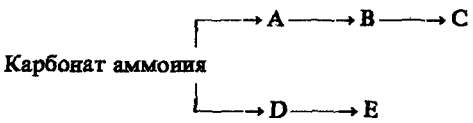
$$\text{Дихромат калия} \rightarrow A \rightarrow CuCl_2 \rightarrow B \rightarrow CuBr_2 \rightarrow C \rightarrow FeBr_3$$

1854. Приведите по одному примеру, иллюстрирующему схему:

$$A + \text{Сложное вещество} \rightarrow B + C + \ldots$$

(B и C — соли, соль C получается при прокаливании соли B) для случаев: а) A — простое вещество; б) A — сложное вещество.

1855. Напишите уравнения реакций, соответствующие схеме:



C и E — несолеобразующие оксиды.

1856. Составьте уравнения реакций в соответствии со схемой:

$$\text{Оксид азота (IV)} \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow \text{Оксид азота (IV)}$$

Вещества не повторяются; все вещества содержат кислород; в схеме четыре окислительно-восстановительные реакции.

1857. Напишите уравнения реакций, соответствующие схеме:

$$\text{Азот} \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow N_2O$$

С изменением степени окисления протекают только две реакции. A, B, C, D, E — вещества, хорошо растворимые в воде.

1858. Напишите уравнения реакций, *соответствующие схеме:*

$$\text{Оксид серы (IV)} \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow \text{Оксид серы (IV)}$$

Все реакции протекают без изменения степеней окисления элементов. A, B, C, D — вещества, хорошо растворимые в воде.

1859. Напишите уравнения реакций, соответствующие схеме:

$$\text{Иод} \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow \text{Иод}$$

С изменением степени окисления протекают только две реакции. A, B, C, D — *вещества, хорошо* растворимые в воде.

РАСЧЕТНЫЕ ЗАДАЧИ

1860. Кислород смешали с оксидом азота (II), в полученной смеси газов атомов кислорода оказалось на 90% больше атомов азота. Полученную смесь газов пропустили через 25 г 40%-го раствора гидроксида натрия, при этом массовая доля щелочи снизилась на 5%. Вычислите объем (н. у.) взятого оксида азота (II).

1861. Нитрат железа (II) растворили в воде; в полученный раствор опустили алюминиевую проволочку. Спустя некоторое время ее вынули, после чего раствор осторожно выпарили, получив смесь безводных солей, масса которой оказалась на 10% меньше массы исходной соли. Вычислите объемные доли газов в смеси, образовавшейся после прокаливания смеси солей.

1862. В 150 г 4,48%-го раствора бромида меди (II) опустили пластинку из железа. Спустя некоторое время ее вынули и взвесили; масса *пластинки увеличилась* на 160 мг. После этого через образовавшийся раствор пропустили 1,12 л (н. у.) хлора. Какие соли можно выделить из этого раствора? Вычислите их массы.

1863. К 100 г горячего раствора азотной кислоты добавили смесь гидрокарбоната натрия и сульфита натрия, при этом выделилась бесцветная смесь двух газов общей массой 3,7 г. Эту смесь

смешали с 3,36 л (н. у.) кислорода, в результате чего число молекул кислорода уменьшилось в 1,5 раза. Вычислите массовую долю азотной кислоты в исходном растворе, если известно, что ее массовая доля в конечном растворе составила 5,73%.

1864. К 10%-му горячему раствору азотной кислоты добавили смесь карбоната калия и гидросульфида калия, при этом образовался осадок и выделилась бесцветная смесь двух газов со средней молярной массой 39,33 г/моль. К смеси газов добавили 336 мл (н. у.) кислорода, в результате чего объемные доли двух оксидов сравнялись между собой. Вычислите массовую долю нитрата калия в полученном растворе, если массовая доля азотной кислоты в нем равна 2,11%.

1865. К 15%-му горячему раствору азотной кислоты добавили 31,6 г смеси карбоната и сульфида, образованных одним из щелочно-земельных металлов. В результате образовался осадок и выделилась бесцветная смесь двух газов, содержащая $4{,}214 \cdot 10^{23}$ атомов. После того как к этой смеси добавили 6,72 л (н. у.) кислорода, объемная доля кислорода в образовавшейся смеси газов составила 40%. Вычислите массовую долю нитрата щелочно-земельного металла в полученном растворе, если массовая доля азотной кислоты в нем равна 2,44%.

1866. Смесь гидроксидов железа общей массой 36,6 г разделили на две равные части. Одну из них обработали избытком иодоводородной кислоты; в полученном растворе объемом 500 мл молярная концентрация иодида железа составила 0,35 моль/л. Вычислите объем раствора азотной кислоты с молярной концентрацией 10,0 моль/л, необходимый для получения максимально возможной массы нитрата железа (III) из второй порции смеси гидроксидов.

1867. Оксид железа (II,III) массой 58,0 г обработали при нагревании 2,24 л хлора (в пересчете на н. у.) в присутствии каталитических следов влаги. Смесь веществ после окончания реакции обработали избытком воды; нерастворившуюся порцию обработали 1,50 л раствора серной кислоты с молярной концентрацией 1,82 моль/л (пл. 1,10 г/мл). Вычислите массовые доли веществ в получившемся растворе.

1868. Порцию оксида железа (II,III) обработали при нагревании 1,6 г брома в присутствии каталитических следов влаги. Смесь веществ после окончания реакции обработали избытком воды; нерастворившуюся порцию обработали избытком раствора серной кислоты. Выяснилось, что в полученном растворе массовые доли сульфатов железа различаются в 5,46 раза. Вычислите массу исходной порции оксида железа (II,III).

1869. Через раствор с массовой долей бромида железа (III), равной 5,92%, пропускали оксид серы (IV) до тех пор, пока

количество вещества ионов водорода не сравнялось с количеством вещества атомов железа. К полученному раствору добавили 7,14%-й раствор аммиака до прекращения выделения осадка, всего добавили 25,0 г. Вычислите массовые доли веществ в надосадочной жидкости.

1870. Через водный раствор, содержащий сульфат железа (III) и серную кислоту, в котором количество вещества ионов железа равно 0,2 моль, количество вещества сульфат-ионов 0,4 моль, а масса водорода 40,2 г, пропускали оксид серы (IV) до тех пор, пока его массовая доля в полученном растворе не стала равной 1,6%. Вычислите, какую массу 20%-го раствора сульфида калия следует добавить к этому раствору, чтобы массовая доля сульфида калия в надосадочной жидкости составила 1%.

1871. Через 509,6 г водного раствора смеси сульфата железа (III) и серной кислоты, в котором суммарная масса железа и серы равна 27,2 г, а числа атомов железа и серы различаются в 2,5 раза, пропускали оксид серы (IV) до тех пор, пока разница масс серы и железа не достигла 6,4 г. Вычислите, какую массу 7,8%-го раствора сульфида натрия следует добавить к этому раствору, чтобы массовая доля сульфида натрия в надосадочной жидкости составила 1,56%.

1872. В 200 г раствора нитрата железа (II) опустили магниевую проволоку. Спустя некоторое время ее вынули, а раствор осторожно выпарили. Смесь безводных солей прокалили, в образовавшейся смеси газов массовая доля одного из веществ равна 87,8%. Сухой остаток обработали последовательно избытком иодоводорода и 160 г бензола. После отделения органического слоя массовая доля бензола в нем оказалась равной 86,3%. Вычислите массовую долю нитрата железа в исходном растворе.

1873. В раствор хлорида железа (III) опустили алюминиевую пластинку. Через некоторое время ее вынули и взвесили. Масса пластинки изменилась на 5,8 г. К полученному раствору добавили сульфид калия до прекращения выделения осадка. Осадок отделили, его масса составила 20,4 г. Масса надосадочной жидкости оказалась равной 200 г. На сколько процентов изменилась массовая доля (по сравнению с исходной) хлорида железа (III), после того как вынули алюминиевую пластинку?

1874. При восстановлении оксида железа (III) оксидом углерода (II) масса полученной смеси твердых веществ оказалась на 2,5% меньше массы оксида. Смесь веществ растворили в 27%-м растворе бромоводородной кислоты. В полученном растворе массовая доля бромида железа (II) составила 5,67%, а масса бромоводорода 5,4 г. Какую массу карбоната натрия нужно добавить к полученному раствору для полного перевода ионов железа в осадок?

1875. Через 200 г 9%-го раствора нитрата железа (II) пропустили аммиак. Масса азота в полученной смеси оказалась больше массы железа. Смесь выдержали некоторое время в открытом сосуде на воздухе, после чего осадок отфильтровали. Масса осадка составила 9,85 г. После того как к этому осадку добавили водный раствор брома, масса осадка уменьшилась до 9,29 г. Вычислите массы твердых веществ, образующихся при прокаливании последнего осадка.

1876. Через водный раствор смеси иодидов алюминия и калия пропустили избыток озона. Полученную смесь энергично встряхнули с бензолом. После отделения бензольного слоя масса его увеличилась на 12,07 г по сравнению с исходной массой бензола. К оставшемуся водному слою добавили 10 г 31,5%-го раствора азотной кислоты, в результате чего в надосадочной жидкости оказалось только одно вещество; его массовая доля составила 10%. Вычислите массовые доли иодидов в исходном растворе.

1877. В оксиде металла на долю атомов кислорода приходится 60%, а массовая доля металла равна 52,9%. К порции этого оксида добавили металл и смесь сильно нагрели. В полученной смеси веществ на долю атомов кислорода приходится 24%, а суммарная массовая доля атомов металлов равна 82,5%. Эту смесь растворили при нагревании в достаточном количестве воды, при этом выделилось 672 мл (н. у.) газа. Вычислите объем углекислого газа, который следует пропустить через раствор до прекращения выделения осадка.

1878. К 325 г раствора хлорида железа (III) добавили порошок меди. После окончания реакции непрореагировавшую медь отделили, а через раствор пропустили сероводород до прекращения выделения осадка. После того как осадок отфильтровали, в раствор поместили магниевую пластинку массой 12 г. По окончании реакций пластинку взвесили, ее масса оказалась равной 16 г. Вычислите массовую долю хлорида железа (III) в исходном растворе.

1879. В 50 г 10,8%-го раствора хлорида меди (II) поместили порошок железа. После того как все железо вступило в реакцию, через образовавшийся раствор пропустили сероводород до прекращения выделения осадка. После удаления осадка в раствор поместили алюминиевую пластинку массой 5 г. По окончании реакций пластинку взвесили, ее масса увеличилась на 24,4%. Вычислите массу порошка железа (III), помещенного в исходный раствор.

1880. Смесь алюминия и цинка нагрели с пероксидом натрия. По окончании реакций, не сопровождавшихся выделением газа, массовые доли пероксида натрия и оксида натрия составили 6,35

и 30,3%, соответственно. Вычислите массовую долю цинка в его смеси с алюминием.

1881. Смесь хлората калия и оксида марганца (IV), в которой массовая доля катализатора равна 1,00%, прокалили. Чему будет равна массовая доля катализатора в смеси после полного разложения хлората калия?

1882. Водород пропускают под давлением через раскаленный до 500 °С кокс (в присутствии катализатора). Плотность газовой смеси на выходе из реакционной зоны при температуре 500 °С и давлении 500 кПа составляет 1,00 г/л. Вычислите, с каким выходом (%) проходит синтез метана.

1883. При обработке избытком хлора смеси бромида железа (II) и бромида железа (III), находящейся в водном растворе, масса сухого остатка, полученного после выпаривания и прокаливания, уменьшилась в 1,50 раза по сравнению с массой исходной смеси солей. В каком молярном соотношении находились в исходной смеси соли?

1884. При обработке в водном растворе иодида калия некоторой порцией хлора масса сухого остатка, полученного после выпаривания и прокаливания, оказалась ровно в 2 раза меньше массы исходной соли. Вычислите, какая часть (%) исходного иодида калия подверглась окислению.

1885. К 100 г 25,0%-го раствора серной кислоты добавили 40,0 г раствора оксида серы (VI) в серной кислоте. Для осаждения всех сульфат-ионов из образовавшегося раствора потребовалось добавить 180 мл раствора нитрата бария с концентрацией 4,00 моль/л. Вычислите массовую долю оксида серы (VI) в олеуме.

1886. Раствором гидроксида калия с массовой долей щелочи 0,500 нейтрализуют 10,0%-й раствор оксида серы (VI) в серной кислоте. Во сколько раз масса раствора щелочи должна быть больше массы олеума?

1887. К раствору, содержащему сульфид и гидросульфид калия, в котором число атомов калия в 1,20 раза больше числа атомов серы, а число последних составляет 1,20% от числа Авогадро, по каплям добавили 1,20%-й нейтральный раствор $KMnO_4$ (пл. 1,006 г/мл) до тех пор, пока массовые доли кислой и средней солей не сравнялись. Вычислите объем добавленного раствора.

1888. Аммиак, содержащий в качестве примеси азот с объемной долей 10,0%, подвергли термическому разложению, которое прошло на 50,0%. Вычислите среднюю молярную массу образовавшейся смеси газов.

1889. Вычислите массовые доли веществ в растворе, полученном при пропускании 12,0 л аммиака (н. у.) через 185 г 11,0%-го раствора гидросульфата калия.

1890. Аммиак объемом 9,35 л (н. у.) пропустили через 120 г 40%-го теплого раствора гидросульфата аммония. Вычислите, какая масса соли выпадет в осадок после охлаждения раствора до температуры, при которой растворимость соли составляет 75,1 г в 100 г воды.

1891. К 142 мл раствора дигидрофосфата натрия с концентрацией 0,705 моль/л (пл. 1,06 г/мл) добавили 12,0 г гидрида натрия. Вычислите массовые доли веществ в образовавшемся растворе.

1892. К 100 г раствора гидрокарбоната аммония добавили 8,64 г гидрида натрия; раствор нагревали до тех пор, пока не прекратилось выделение газа. Всего выделилось 10,8 л (н. у.) смеси газов. Вычислите массовые доли веществ в образовавшемся растворе.

1893. Смесь гидросульфита калия и сульфита кальция обработали избытком соляной кислоты. Минимальный объем раствора гидроксида калия с концентрацией 2,00 моль/л, необходимый для полного поглощения выделившегося газа, равен 200 мл. Вычислите массу исходной смеси.

1894. Смесь сульфита аммония и сульфата щелочного металла общей массой 16,8 г обработали избытком водного раствора гидроксида бария при нагревании. Масса выделившегося газа оказалась в 9,88 раза меньше массы исходной смеси, а масса образовавшегося осадка в 2,04 раза больше массы исходной смеси. Установите, какой металл входил в состав сульфата.

1895. В твердом остатке, полученном при частичном разложении перманганата калия, на два атома марганца приходится семь атомов кислорода. Вычислите массовую долю перманганата калия в этом остатке.

1896. Сульфит калия поместили в 2,00%-й раствор пероксида водорода. По окончании реакции в раствор добавили 0,05 г оксида марганца (IV). После прекращения выделения газа, которого всего собрали 560 мл (н. у.), раствор осторожно упарили, а сухой остаток взвесили. Его масса оказалась равной 1,71 г. Вычислите исходную массу раствора пероксида водорода.

1897. К 150 г 3,65%-й соляной кислоты добавили 1,28 г гидрида щелочного металла. После завершения реакции к раствору добавили красный лакмус, который поменял окраску на синюю. Установите, какой металл входил в состав гидрида.

1898. Цинковую пластинку опустили в 150 г раствора нитрата серебра. Через некоторое время ее вынули, промыли водой и взвесили. Масса ее оказалась на 0,302 г больше исходной. Молярные концентрации солей в растворе, из которого удалили пластинку, оказались равными. Вычислите массовую долю нитрата серебра в исходном растворе.

1899. К 250 г 7,30%-й соляной кислоты добавили 19,8 г неорганического вещества, в результате чего выделилось 4,48 л оксида серы (IV) (н. у.). Установите состав раствора (в массовых долях). Известно, что сухой остаток, полученный при выпаривании полученного раствора, полностью улетучивается при прокаливании.

1900. Нитрид бария обработали раствором серной кислоты; всего добавили 250 г раствора. В результате реакции выпал осадок массой 69,9 г. Молярные концентрации сульфата аммония и серной кислоты в надосадочной жидкости оказались равными. Вычислите массовую долю серной кислоты в исходном растворе.

1901. Щелочно-земельный металл поместили в достаточный объем воды. После завершения реакции к полученному раствору добавили избыток карбоната натрия. Выпавший осадок отфильтровали и высушили. Оказалось, что в полученном образце массовая доля химически не связанной воды равна 5,00%, а массовая доля углерода равна 11,4%. Установите, какой металл растворили в воде.

1902. Через горячий раствор гидроксида калия пропустили смесь хлора и хлороводорода. Щелочь вступила в реакцию полностью. Масса сухого остатка, полученного после выпаривания образовавшегося раствора, составила 113,9 г. Массовая доля кислорода в этом остатке равна 8,43%. Вычислите объем смеси газов, пропущенный через раствор щелочи (30 °С; 101 кПа).

1903. К 43,5 г 60,0%-го раствора гидрофосфата калия добавили раствор фосфорной кислоты с концентрацией 18,34 моль/л (пл. 1,845 г/мл). В результате в осадок выпало 36,78 г соли. Вычислите ее растворимость в 100 г воды, если известно, что в надосадочной жидкости, кроме воды, была только эта соль.

1904. Смесь равных количеств гидроксида и карбоната металла, имеющего в этих соединениях степень окисления +2, прокалили. Масса твердого остатка оказалась больше массы выделившегося газа (при 15 °С) в 3,273 раза. К получившемуся твердому остатку добавили в 15 раз большую массу 3,65%-й соляной кислоты. Вычислите массовые доли веществ в образовавшемся растворе.

1905. Смесь равных количеств гидроксида и карбоната металла, имеющего в этих соединениях степень окисления +2, прокалили. Масса твердого остатка оказалась больше массы образовавшейся воды в 17 раз. К получившемуся твердому остатку добавили 9,80%-й раствор серной кислоты. Выяснилось, что надосадочная жидкость представляет собой воду. Вычислите, во сколько раз масса добавленной кислоты была больше массы твердого остатка.

1906. Смесь гидроксида и карбоната металла (в соединениях его степень окисления всегда +2) прокалили. Газообразные про-

дукты пропустили последовательно через трубку с безводным сульфатом меди (ее масса увеличилась на 5,40 г) и склянку с концентрированным раствором щелочи (ее масса увеличилась на 8,80 г). Вычислите, какой объем раствора азотной кислоты с концентрацией 5,00 моль/л необходим для полного растворения твердого остатка.

1907. При добавлении к галогениду кальция в водном растворе избытка нитрата серебра выпало 18,8 г осадка. При добавлении к такой же массе галогенида кальция избытка водного раствора карбоната калия образуется 5,00 г нерастворимого вещества. Установите, какой галоген входил в состав соли.

1908. Раствор хлорида металла, который в соединениях всегда имеет степень окисления +2, разделили на две равные части. Одну из них обработали избытком фосфата натрия, при этом образовалось 6,01 г осадка. Вторую часть раствора обработали избытком сульфита калия. Масса выпавшего осадка в этом случае составила 6,51 г. Установите, какой металл входил в состав хлорида.

1909. При обработке смеси двух сульфидов (оба состава MeS) общей массой 27,2 г избытком разбавленной соляной кислоты выделилось 4,48 л (н. у.) газа, а масса нерастворившегося остатка составила 9,60 г. При обжиге исходной смеси той же массы образовалось 19,2 г газа. Установите, какие металлы входили в состав исходной смеси.

1910. Смесь массой 64,8 г, состоящую из карбоната и сульфата одного и того же однозарядного катиона, растворили в воде и обработали избытком хлорида бария, при этом образовалось 125,4 г осадка. Такую же смесь такой же массы обработали в водном растворе избытком хлорида магния; при этом образовалось 33,6 г осадка. Вычислите массовые доли солей в исходной смеси солей.

1911. Гидрид бария обработали раствором серной кислоты с массовой долей растворенного вещества 0,05. Осадок отделили от раствора. Масса осадка составила 23,3 г, а фильтрата — 480,2 г. Вычислите массовую долю серной кислоты в фильтрате.

1912. Газ, выделившийся при нагревании с избытком концентрированного раствора серной кислоты смеси хлорида натрия и хлорида цинка общей массой 9,82 г, поглотили 9,80%-м раствором фосфорной кислоты массой 150 г. К полученному раствору добавили 12,0 г гидроксида натрия. Выяснилось, что в растворе находятся только две соли, причем их молярные концентрации равны. Вычислите массовые доли веществ в исходной смеси.

1913. Смесь магния, цинка и пероксида натрия, массовая доля в которой пероксида натрия равна 71,7%, нагрели. По окончании

реакций, не сопровождавшихся выделением газа, массовая доля оксида натрия в полученной смеси составила 11,4%. Полученную смесь веществ обработали избытком разбавленного раствора серной кислоты. После добавления оксида марганца (IV) выделился газ объемом 224 мл (н. у.) (масса оксида марганца при этом не изменилась). Вычислите массу цинка в исходной смеси.

1914. К 50%-му раствору азотной кислоты добавили оксид меди (I), при этом выделилась смесь двух оксидов азота с плотностью 1,331 г/л (98 кПа; 40 °С). В полученном растворе молярные концентрации кислоты и соли сравнялись. Чему равны их массовые доли?

1915. К 250 г горячего 63%-го раствора азотной кислоты добавили серебро, в результате реакции выделилось 14,4 л (н. у.) смеси оксида азота (II) и оксида азота (IV). Плотность этой смеси газов на 49,4% больше плотности воздуха. К полученному раствору добавили смесь хлорида бария и гидрида кальция, в результате чего молярные концентрации ионов всех металлов сравнялись между собой. Вычислите массовую долю азотной кислоты в конечном растворе.

1916. К смеси железа и меди добавили 34,8 г 21%-й соляной кислоты. Через жидкость, находящуюся над нерастворившимся остатком, пропускали небольшими порциями хлор, интенсивно перемешивая смесь. Для полного растворения осадка пришлось добавить 1,12 л (н. у.) хлора. В полученном растворе находились только соли: массовая доля соли железа составила 35%, а соли меди — 5%. Вычислите массу исходной смеси металлов.

1917. В раствор нитрата железа (III) опустили медную проволоку. Спустя некоторое время проволоку вынули, раствор выпарили, из полученной смеси солей удалили всю кристаллизационную воду. Смесь безводных солей прокалили, при этом получили 7,9 г смеси двух газов, в которой на долю атомов азота приходится 29,27% всех атомов. Вычислите, какой объем (200 °С, 101 кПа) оксида углерода (II) нужно пропустить через твердый остаток, полученный после прокаливания солей, чтобы массовая доля кислорода в нем снизилась ровно в 2 раза.

РАЗДЕЛ 3
ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

3.1. ВВЕДЕНИЕ В ОРГАНИЧЕСКУЮ ХИМИЮ. АЛКАНЫ

Многообразие органических соединений связано со способностью атомов углерода образовывать прочные связи между собой. Возникающие при этом углеродные цепи могут иметь замкнутое (циклические соединения) и незамкнутое (алифатические соединения) строение.

Соединения, углеродные скелеты которых состоят только из одинарных связей C — C, называются *насыщенными*. При наличии в молекуле хотя бы одной краткой связи (C=C или C≡C) соединения относят к *ненасыщенным*.

В органических соединениях, помимо углерод-углеродных связей, чаще всего имеются связи C–H, C–O, C=O, O–H, C–N, N–H, N–O. Одинарные связи практически всегда являются σ-связями, двойные связи — комбинацией одной σ-связи и одной π-связи, тройные связи — комбинацией одной σ-связи и двух π-связей. В атоме углерода, образующем только одинарные связи, атомные орбитали внешнего уровня находятся в состоянии sp^3-гибридизации. Для образования атомом двойной или тройной связи атомные орбитали его внешнего уровня подвергаются sp^2- и sp-гибридизации, соответственно.

Цепи циклических органических соединений могут состоять только из атомов углерода — *карбоциклические соединения*, либо из атомов углерода и других элементов — кислорода, азота, серы — *гетероциклические соединения*. Циклические соединения также могут быть насыщенными и ненасыщенными. В особый класс циклических соединений выделяют *ароматические соединения*, для которых характерна делокализация π-связей. Простейшим ароматическим соединением является бензол.

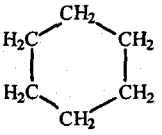
Таким образом, по строению углеродного скелета можно выделить следующие основные группы соединений.

I. Ациклические

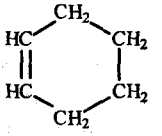
1. Насыщенные (например, бутан $CH_3—CH_2—CH_2—CH_3$).
2. Ненасыщенные (например, бутен $CH_2=CH—CH_2—CH_3$).

II. Циклические

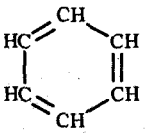
1. Карбоциклические.
1.1. Насыщенные (например, циклогексан).
1.2. Ненасыщенные (например, циклогексен).
1.3. Ароматические (например, бензол).
2. Гетероциклические.
2.1. Насыщенные (например, пирролидин).
2.2. Ненасыщенные (например, пирролин-2).
2.3. Ароматические (например, пиррол).
Например:



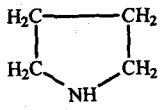
циклогексан



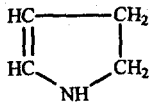
циклогексен



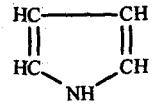
бензол



пирролидин



пирролин-2



пиррол

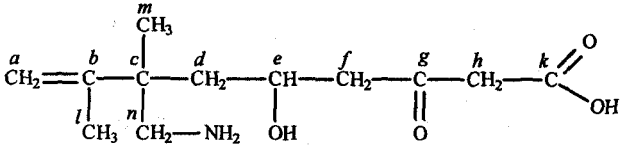
В состав большинства органических соединений входят различные *функциональные группы*: атомные (атомы неметаллов, например, галогенов или металлов) и молекулярные (остатки простых молекул неорганических веществ с типичными для них связями).

Наиболее часто встречаются в соединениях следующие функциональные группы: гидроксильная $-OH$; карбонильная $>C=O$; карбоксильная $-COOH$; аминогруппа $-NH_2$; нитрогруппа $-NO_2$. Эти функциональные группы обусловливают существование важнейших классов органических соединений: спиртов и фенолов (гидроксильная группа), альдегидов и кетонов (карбонильная группа), карбоновых кислот (карбоксильная группа), аминов (аминогруппа), нитросоединений (нитрогруппа). Существуют и другие функциональные группы и, естественно, другие классы соединений. Кроме того, в молекулах органических соединений могут сочетаться две или больше одинаковых или разных функциональных групп.

Состав соединения выражают молекулярной, или брутто-формулой, показывающей, атомы каких элементов и в каком количестве входят в молекулу (например, C_2H_6O). Поскольку соединения, имеющие одинаковый состав, но разное строение (последовательность связей между атомами в молекуле и характер распределения в них электронной плотности), различаются по химическим свойствам, в органической химии чаще пользуются структурными формулами, например, диметиловый эфир $CH_3—O—CH_3$, этанол $CH_3—CH_2—OH$

Вещества, имеющие одинаковый состав, но разное строение, называются *структурными изомерами*. Диметиловый эфир и этанол, состав которых передается одинаковой молекулярной формулой, а строение — разными структурными формулами, являются структурными изомерами.

Для описания структуры органических соединений часто пользуются понятиями: «первичный», «вторичный», «третичный» и «четвертичный» атом углерода. *Первичным* называют такой атом углерода, который связан только с одним атомом углерода; *вторичным* — с двумя, *третичным* — с тремя и *четвертичным* — с четырьмя. В приведенной ниже структурной формуле буквами *a, k, l, m, n* обозначены первичные атомы углерода, буквами *d, e, f, g, h* — вторичные; третичный атом показан буквой *b*, а четвертичный — буквой *c*:



Если в структуре имеются только первичные и вторичные атомы углерода, то такой углеродный скелет называется *неразветвленным*. Наличие третичных и (или) четвертичных атомов углерода обусловливает *разветвление* углеродного скелета.

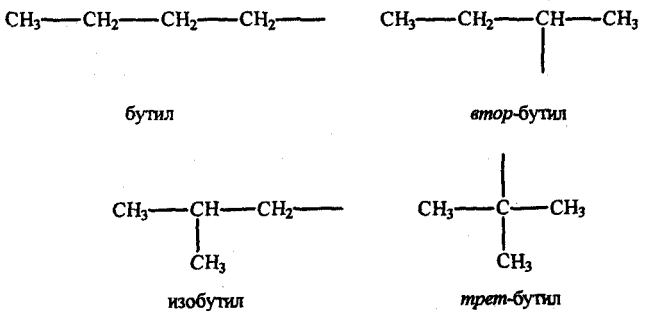
Алканы — один из классов углеводородов — соединений, в молекулах которых имеются атомы только углерода и водорода. *Алканами* называются ациклические углеводороды, в молекулах которых имеются только одинарные C—C-связи. Общая формула всех алканов C_nH_{2n+2}. Алканы в названии обязательно имеют суффикс *-ан*. Названия первых десяти алканов необходимо запомнить: метан CH_4, этан C_2H_6, пропан C_3H_8, бутан C_4H_{10}, пентан C_5H_{12}, гексан C_6H_{14}, гептан C_7H_{16}, октан C_8H_{18}, нонан C_9H_{20}, декан $C_{10}H_{22}$.

При отщеплении от молекулы алкана атома водорода возникает алкильный радикал, название которого образуется от соответствующего алкана с заменой суффикса *-ан* на *-ил*: метил $CH_3—$; этил $C_2H_5—$ (обратите внимание на то, что в формуле

радикала имеется черточка, показывающая свободную валентность). Пропан может образовывать два радикала: при отщеплении атома водорода от первичного атома углерода образуется пропил $CH_3—CH_2—CH_2—$, а от вторичного — изопропил $CH_3—\underset{|}{CH}—CH_3$.

Пропил и изопропил — изомерные радикалы. Изомерия алканов начинается с бутана C_4H_{10}, который существует в виде двух изомеров неразветвленного $CH_3—CH_2—CH_2—CH_3$ (бутан) и разветвленного строения $CH_3—\underset{|}{\underset{CH_3}{CH}}—CH_3$ (изобутан или метилпропан).

Радикалов состава C_4H_9 существует всего четыре: два образуются от бутана и два — от изобутана:



Принципы номенклатуры алканов, как и других органических соединений, подробно изложены в многочисленных учебниках и специальной литературе*.

Рассмотрим физические свойства алканов. Метан, этан, пропан и бутан в обычных лабораторных условиях (25 °С и 101 кПа) — газы. Углеводороды от пентана до $C_{17}H_{36}$ при этих же условиях — жидкости, остальные аяканы — твердые вещества (сравните физические константы: температуры кипения C_4H_{10} и C_5H_{12} соответственно равны −0,5 и +36 °С; температуры плавления $C_{17}H_{36}$ и $C_{18}H_{38}$ равны соответственно +22 и +28 °С). Разветвленные алканы имеют обычно температуры кипения и плавления ниже, чем неразветвленные алканы с тем же числом углеродных атомов. Газообразные алканы не имеют запаха и цвета.

---

*Бокий Г.Б., Голубкова Н.А. Введение в номенклатуру ИЮПАК: Как назвать химическое соединение. — М.: Наука, 1989.

Алканы не растворяются в воде, но хорошо растворяются в неполярных органических растворителях (тетрахлорид углерода, диэтиловый эфир и др.). Все жидкие и твердые алканы имеют плотность не выше 0,8 г/мл, т. е. легче воды. Жидкие и твердые алканы неограниченно растворимы друг в друге.

Перейдем к рассмотрению химических свойств алканов. Алканы малореакционноспособны и вступают в очень ограниченный круг реакций.

Наиболее характерный для алканов тип реакций — замещение атомов водорода на галогены, т. е. *галогенирование*. В эти реакции с алканами вступают хлор (на свету) и бром (на свету при нагревании). Фтор настолько агрессивен, что разрушает углеродный скелет алканов, а иод, обладая меньшей реакционной способностью по сравнению с другими галогенами, в реакции с алканами практически не вступает. Реакции галогенирования являются радикальными (цепными), так как протекают через стадии зарождения цепи (образования радикалов), роста цепи и ее обрыва.

В молекуле алкана могут замещаться один или несколько атомов водорода, при этом образуется смесь галогеналканов:

$$CH_4 + Cl_2 \rightarrow CH_3Cl + HCl$$
хлорметан

$$CH_4 + 2Cl_2 \rightarrow CH_2Cl_2 + 2HCl$$
дихлорметан

$$CH_4 + 3Cl_2 \rightarrow CHCl_3 + 3HCl$$
трихлорметан

$$CH_4 + 4Cl_2 \rightarrow CCl_4 + 4HCl$$
тетрахлорметан

При моногалогенировании (внедрении только одного атома галогена в молекулу алкана) этана образуется только одно вещество, например, при хлорировании образуется хлорэтан:

$$C_2H_6 + Cl_2 \rightarrow C_2H_5Cl + HCl$$

При замещении второго атома водорода образуется смесь изомеров:

$$C_2H_5Cl + Cl_2 \rightarrow CH_3—CHCl_2 + HCl$$
1,1-дихлорэтан

$$C_2H_5Cl + Cl_2 \rightarrow CH_2Cl—CH_2Cl + HCl$$
1,2-дихлорэтан

При моногалогенировании пропана сразу образуется смесь изомеров:

$$CH_3—CH_2—CH_3+Cl_2 \rightarrow CH_3—\underset{\text{2-хлорпропан}}{CHCl}—CH_3+HCl$$

$$CH_3—CH_2—CH_3+Cl_2 \rightarrow CH_3—CH_2—\underset{\text{1-хлорпропан}}{CH_2Cl}+HCl$$

Существует общая закономерность: в реакциях галогенирования атом водорода, находящийся у третичного атома углерода, замещается легче, чем атом водорода у вторичного атома; а у вторичного — легче, чем у первичного.

Следует отметить, что последующая стадия галогенирования начинается не обязательно после того, как закончится предыдущая, т. е. отдельные стадии галогенирования могут идти параллельно, в результате чего практически всегда получается смесь моно-, ди- и полигалогеналканов.

В общем виде реакцию галогенирования можно представить следующим образом (Hal = галоген):

$$C_nH_{2n+2}+mHal_2 \rightarrow C_nH_{2n+2-m}Hal_m+mHHal$$

Для наиболее распространенных механизмов реакций в органической химии используются символы, состоящие из двух прописных букв, одна из которых помещается в нижний индекс. Реакции галогенирования алканов протекают по механизму S_R, что означает: радикальное замещение [R — radicalic (радикал); S — substitution (замещение)].

Многие алканы вступают в реакцию *дегидрирования* — отщепления молекулярного водорода в присутствии катализаторов (чаще всего Cr_2O_3 или Al_2O_3) при повышенной температуре (400 — 600 °С).

При дегидрировании этана и пропана образуются ненасыщенные углеводороды:

$$C_2H_6 \rightarrow \underset{\text{этен}}{CH_2=CH_2}+H_2$$

$$CH_3—CH_2—CH_3 \rightarrow \underset{\text{пропен}}{CH_2=CH—CH_3}+H_2$$

Дегидрирование других неразветвленных алканов проходит с образованием смеси продуктов. Так, например, при дегидрировании бутана образуются изомеры, отличающиеся положением *двойной связи*:

$$CH_3—CH_2—CH_2—CH_3 \rightarrow \underset{\text{бутен-1}}{CH_2=CH—CH_2—CH_3}+H_2$$

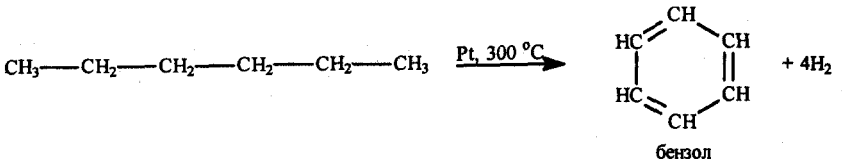
$$CH_3—CH_2—CH_2—CH_3 \rightarrow \underset{\text{бутен-2}}{CH_3—CH=CH—CH_3}+H_2$$

Дегидрирование может проходить более глубоко, т. е. с образованием соединений, имеющих в структуре несколько двойных связей или тройную связь:

$$CH_3—CH_2—CH_3 \rightarrow \underset{\text{пропин}}{CH{\equiv}C—CH_3} + 2H_2$$

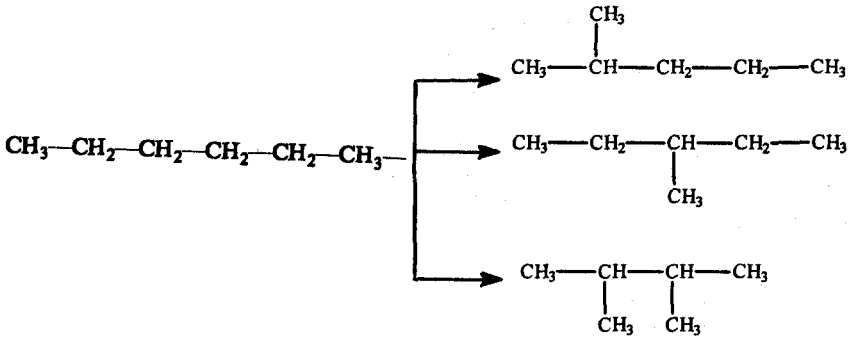
$$CH_3—CH_2—CH_2—CH_3 \rightarrow \underset{\text{бутадиен-1,3}}{CH_2{=}CH—CH{=}CH_2} + 2H_2$$

Алканы, имеющие в молекуле шесть и более атомов углерода, могут вступать в более сложные реакции дегидрирования, в ходе которых отщепление водорода сопровождается замыканием цепи в цикл: реакции дегидрирования — циклизации:



бензол

При нагревании в присутствии особых катализаторов алканы могут подвергаться *изомеризации*, например:



При высоких температурах проходит *крекинг* — разрушение углеродного скелета и образование углеводородов с меньшим числом углеродных атомов; более вероятным является разрыв С—С-связи, находящейся ближе к центру молекулы, например:

$$\underset{\text{алкан}}{C_9H_{20}} \rightarrow \underset{\text{алкан}}{C_4H_{10}} + \underset{\text{алкен}}{C_5H_{10}}$$

или

$$\underset{\text{алкан}}{C_9H_{20}} \rightarrow \underset{\text{алкан}}{C_5H_{12}} + \underset{\text{алкен}}{C_4H_8}$$

В реакциях крекинга всегда образуется смесь продуктов. Кроме того, крекинг часто сопровождается изомеризацией.

Алканы, как и большинство органических соединений, горючи. При условии избытка кислорода образуются конечные продукты окисления: вода и оксид углерода (IV). Уравнение реакции горения может быть представлено в следующем виде:

$$C_nH_{2n+2} + (1{,}5n + 0{,}5)O_2 \rightarrow nCO_2 + (n+1)H_2O$$

При недостатке кислорода образуются продукты неполного сгорания, одним из которых является оксид углерода (II).

В ряде случаев используют так называемое неполное окисление алканов. Проводится оно в присутствии катализаторов. Так, при окислении бутана получают уксусную кислоту:

$$2CH_3—CH_2—CH_2—CH_3 + 5O_2 \rightarrow 4CH_3—COOH + 2H_2O$$

Метан имеет ряд свойств, отличающих его от других алканов.

При высокой температуре и в присутствии катализаторов он реагирует с водой:

$$CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3H_2$$

и с оксидом углерода (IV)

$$CH_4 + CO_2 \rightarrow 2CO + 2H_2$$

При полном крекинге метана (около 1000 °С) образуются сажа и водород:

$$CH_4 \rightarrow C + 2H_2$$

В ходе частичного крекинга могут образовываться ацетилен:

$$2CH_4 \xrightarrow{1500\,^\circ C} C_2H_2 + 3H_2$$

или этилен:

$$2CH_4 \xrightarrow{500\,^\circ C,\ кат} C_2H_4 + 2H_2$$

При частичном окислении метана образуются промежуточные продукты: метанол, формальдегид, муравьиная кислота.

В лабораторных условиях алканы получают по реакции Вюрца из галогеналканов, например:

$$2CH_3Cl + 2Na \rightarrow C_2H_6 + 2NaCl$$

или в общем виде:

$$2C_nH_{2n+1}Hal + 2Na \rightarrow C_{2n}H_{4n+2} + 2NaHal$$

Так получаются алканы с четным числом атомов углерода. Если для синтеза Вюрца взять два галогеналкана, различающихся числом атомов углерода, например, CH_3Br и C_2H_5Br, то получится смесь алканов:

$$2CH_3Br + 2Na \rightarrow CH_3—CH_3 + 2NaBr$$

$$CH_3Br + C_2H_5Br + 2Na \rightarrow CH_3 - CH_2 - CH_3 + 2NaBr$$

$$2C_2H_5Br + 2Na \rightarrow CH_3 - CH_2 - CH_2 - CH_3 + 2NaBr$$

Метан можно получить гидролизом карбида алюминия:

$$Al_4C_3 + 12H_2O \rightarrow 4Al(OH)_3\downarrow + 3CH_4\uparrow$$

или декарбоксилированием ацетата натрия:

$$CH_3COONa\ (т) + NaOH\ (т) \xrightarrow{t} Na_2CO_3 + CH_4$$

Получить другие алканы (этан, пропан и т. д.) декарбоксилированием аналогичных солей с хорошим выходом не удается.

Пример 55. Смесь объемом 700 мл, содержащая пропан и кислород, подожгли. После сгорания всего углеводорода и конденсации паров воды объем смеси сократился до 400 мл (объемы измерялись при одинаковых условиях). Вычислите объемные доли газов в исходной и конечной смесях.

Решение. Пропан горит по уравнению

$$C_3H_8 + 5O_2 \rightarrow 3CO_2 + 4H_2O$$

Пусть в исходной смеси $V(C_3H_8) = x$ (л), тогда $V(O_2)_{исх} = 0{,}7 - x$. Так как пропан прореагировал полностью, расчет объема образовавшегося оксида углерода (IV) и объема израсходованного кислорода проводим по пропану:

$$V(CO_2) = 3V(C_3H_8) = 3x;\ V(O_2)_{вст} = 5x.$$

Выразим объем не вступившего в реакцию кислорода:

$$V(O_2)_{ост} = 0{,}7 - x - 5x = 0{,}7 - 6x.$$

По условию задачи $V(CO_2) + V(O_2)_{ост} = 0{,}4$. *Составим на основании этого* уравнение: $3x + 0{,}7 - 6x = 0{,}4$, откуда $x = 0{,}1$.

Расчет объемных долей проводим по формуле

$$\varphi(X) = V(X) : V(\text{смеси}).$$

Для исходной смеси

$$\varphi(C_3H_8) = 0{,}1 : 0{,}7 = 0{,}143;\ \varphi(O_2) = 1 - 0{,}143 = 0{,}857.$$

Для конечной смеси:

$$\varphi(CO_2) = 0{,}3 : 0{,}4 = 0{,}75;\ \varphi(O_2) = 1 - 0{,}75 = 0{,}25.$$

Таким образом, в исходной смеси объемные доли пропана и кислорода были равны соответственно 14,3 и 85,7%, а в конечной смеси объемные доли оксида углерода (IV) и кислорода — 75,0 и 25,0%.

Пример 56. Плотность по азоту смеси алканов равна 1,808. При бромировании этой смеси выделено только две пары изомерных монобромалканов. Суммарная масса более легких изомеров в продуктах реакции равна суммарной массе более тяжелых изомеров. Вычислите массовые доли алканов в исходной смеси.

Решение. Вычислим среднюю молярную массу смеси:

$$M_{ср} = D_{азот} M(N_2);\ M_{ср} = 1{,}808 \cdot 28 = 50{,}62\ г/моль.$$

Более легкий алкан должен иметь молярную массу меньше 50 г/моль. Этому условию отвечают метан, этан и пропан. Метан и этан не могут образовывать изомерные моногалогеналканы, следовательно, в смеси обязательно есть пропан. При его бромировании образуются два изомера: 1-бромпропан и 2-бромпропан. Запишем уравнение реакции в общем виде для двух изомеров:

$$C_3H_8 + Br_2 \rightarrow HBr + C_3H_7Br$$

Примем, что в молекуле второго алкана содержится n атомов углерода. Запишем для него уравнение реакции бромирования:

$$C_nH_{2n+2} + Br_2 \rightarrow HBr + C_nH_{2n+1}Br$$

Пусть $\nu(C_3H_8) = x$; $\nu(C_nH_{2n+2}) = y$.

Молярные массы неизвестного алкана и изомерных продуктов его бромирования равны

$$M(C_nH_{2n+2}) = 14n + 2;\ M(C_nH_{2n+1}Br) = 14n + 81.$$

Выразим массы продуктов реакции по формуле

$$m = M\nu;\ m(C_3H_7Br) = 123x;\ m(C_nH_{2n+1}Br) = (14n + 81)y.$$

Поскольку $m(C_3H_7Br) = m(C_nH_{2n+1}Br)$, справедливо:

$$123x = (14n + 81)y.$$

Второе уравнение составим, связав количества веществ алканов в исходной смеси с средней молярной массой:

$$\frac{M(C_3H_8)\nu(C_3H_8) + M(C_nH_{2n+2})\nu(C_nH_{2n+2})}{\nu(C_3H_8) + \nu(C_nH_{2n+2})} = 50{,}62.$$

Таким образом, получается система уравнений

$$\begin{cases} \dfrac{44x + (14n+2)y}{x+y} = 50{,}62, \text{ откуда } n = 4;\ x = 1{,}110y, \\ 123x = (14n + 81)y. \end{cases}$$

Второй алкан — бутан или изобутан. Выразим массы алканов в исходной смеси через y: $m(C_3H_8) = 44 \cdot 1{,}11y = 48{,}84y$; $m(C_4H_{10}) = 58y$.

Выразим массовую долю бутана:

$$\omega(C_4H_{10}) = m(C_4H_{10}) : m(C_4H_{10} + C_3H_8);$$

$$\omega(C_4H_{10}) = 58y : (58y + 48{,}84y) = 0{,}543;$$

тогда

$$\omega(C_3H_8) = 1 - 0{,}543 \approx 0{,}457,$$

следовательно, массовые доли бутана и пропана в исходной смеси составляли 54,3 и 45,7%, соответственно.

Пример 57. При бромировании 61,85 г смеси алкана и дибромалкана получили 93,45 г смеси, состоящей только из изомерных трибромалканов с относительной плотностью паров по воздуху 9,21. Вычислите массовую долю алкана в исходной смеси.

Решение. Составим общую формулу трибромалканов

$$M(C_nH_{2n-1}Br_3)$$

и выразим через n значение молярной массы: $M=14n+239$.

По условию задачи $M=29\cdot 9{,}21=267$, таким образом, $14n+239=267$, откуда $n=2$.

Протекали следующие реакции:

$$C_2H_6+3Br_2\rightarrow C_2H_3Br_3 \text{ (смесь изомеров)}+3HBr$$

$$C_2H_4Br_2+Br_2\rightarrow C_2H_3Br_3 \text{ (смесь изомеров)}+HBr$$

Вычислим суммарное количество вещества образовавшихся трибромалканов:

$$\nu(C_2H_3Br_3)=93{,}45:267=0{,}35 \text{ моль}.$$

Пусть $\nu(C_2H_6)=x$; тогда $\nu(C_2H_4Br_2)=0{,}35-x$.

Составим уравнение:

$$30x+188(0{,}35-x)=61{,}85, \text{ откуда } x=0{,}025.$$

Вычислим массу этана в исходной смеси и затем,— его массовую долю:

$$m(C_2H_6)=30\cdot 0{,}025=0{,}75 \text{ г}; \omega(C_2H_6)=0{,}75:61{,}85=0{,}0121.$$

Пример 58. При окислении паров алкана получили 20 г смеси оксидов углерода, в которой массовая доля оксида углерода (II) больше массовой доли оксида углерода (IV). Объем израсходованного кислорода оказался в 7 раз больше объема алкана (измерено при одинаковых условиях). Вычислите массу исходного алкана.

Решение. Составим уравнения реакций окисления до углекислого газа и оксида углерода (II) в общем виде:

$$C_nH_{2n+2}+(1{,}5n+0{,}5)O_2\rightarrow nCO_2+(n+1)H_2O \quad (I)$$

$$C_nH_{2n+2}+(n+0{,}5)O_2\rightarrow nCO+(n+1)H_2O \quad (II)$$

Из системы неравенств $1{,}5n+0{,}5>7$ и $n+0{,}5<7$; $4{,}3<n<6{,}5$.

Следовательно, n может принимать значение только 5 или 6.

По условию задачи $\omega(CO)>\omega(CO_2)$, значит, будет соблюдаться такое неравенство: $\nu(CO)>\nu(CO_2)$.

Пусть $\nu(C_nH_{2n+2})_I=x$; $\nu(C_nH_{2n+2})_{II}=y$.

При $n=5$ $8x+5{,}5y=7(x+y)$, откуда $x=1{,}5y$, т. е. $\nu(CO)>\nu(CO_2)$, что противоречит условию.

При $n=6$ $9{,}5x+6{,}5y=7(x+y)$, откуда $\nu=5x$, алкан — C_6H_{14}.

Выразим массы образовавшихся оксидов углерода через x:

$$m(CO_2)=6x\cdot 44=264x; m(CO)=6\cdot 5x\cdot 28=840x.$$

Составим уравнение: $264x+840x=20$; откуда $x=0{,}01812$.

Таким образом, масса гексана составит $86\cdot 6x=86\cdot 6\cdot 0{,}01812=9{,}35$ г.

ВОПРОСЫ, УПРАЖНЕНИЯ И ЗАДАЧИ

1918. Как классифицируются углеводороды? Приведите общую формулу гомологического ряда алканов.

1919. Приведите формулы алканов, не имеющих изомеров. С какого радикала начинается изомерия?

1920. Какие алканы при комнатной температуре являются газами, жидкостями, твердыми веществами? Охарактеризуйте растворимость алканов в различных растворителях.

1921. Не прибегая к справочным данным, расположите следующие углеводороды в порядке увеличения температур кипения: декан, гексан, диметилбутан, гептан.

1922. Объясните, почему алканы достаточно инертны в химическом отношении.

1923. По какому механизму протекают реакции замещения, в которые вступают алканы? Какие вещества могут образоваться при хлорировании хлорметана?

1924. Какие углеводороды могут образоваться при изомеризации *н*-гексана? Приведите схемы процессов.

1925. Какие углеводороды могут образоваться при крекинге: а) октана; б) нонана?

1926. Составьте уравнение реакции синтеза *н*-декана из галогеналкана.

1927. Составьте уравнение реакции горения алканов, содержащих в молекуле: а) 15 атомов углерода; б) 34 атома водорода.

1928. Напишите формулу 2,3,4-триметилпентана. Приведите формулу его изомера с более длинной цепью.

1929. Напишите формулу 2,2,5,5-тетраметилгексана. Приведите формулу его изомера, в молекуле которого имеются только четыре первичных атома углерода.

1930. Напишите формулу 2,3,3,4-тетраметилпентана. Приведите формулу его изомера, в молекуле которого имеются только первичные и вторичные атомы углерода.

1931. Напишите формулу 2,5-диметил-3,4-диэтилгексана. Приведите формулу его изомера, в молекуле которого имеются три третичных атома углерода.

1932. Напишите формулу 2,3,4,5,6,7-гексаметилоктана. Приведите формулу его изомера, имеющего в качестве заместителей в основной цепи только шесть метильных радикалов.

1933. Напишите формулу 2,4-диметил-3,3-диэтилпентана. Приведите формулу его изомера, имеющего в качестве заместителя в основной цепи только один радикал.

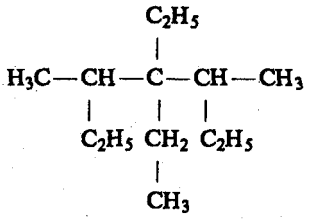
1934. Напишите формулу 3,3-диэтилгептана. Приведите формулу гомолога этого алкана, имеющего на один атом углерода меньше и семь первичных атомов углерода.

1935. Напишите формулу 3,3-диэтилгексана. Приведите формулу гомолога, имеющего на один атом углерода больше и не содержащего вторичных атомов углерода.

1936. Напишите формулу 2,4-диметил-3-этилгексана. Приведите формулу гомолога, имеющего на один атом углерода больше и содержащего только первичные и четвертичные атомы углерода.

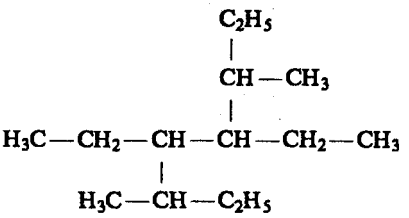
1937. Напишите формулу 3,4,5-триметилгептана. Приведите формулу гомолога, имеющего на один атом углерода меньше и содержащего три вторичных атома углерода.

1938. Назовите следующее соединение:



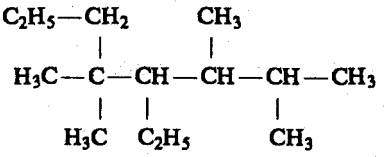
Приведите формулу гомолога этого соединения, имеющего на два водородных атома больше и с максимально возможным числом радикалов в главной цепи.

1939. Назовите следующее соединение:



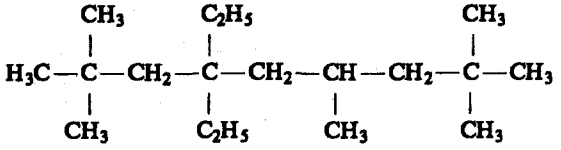
Приведите формулу гомолога этого соединения, имеющего на один углеродный атом меньше и два пропильных радикала.

1940. Назовите следующее соединение:



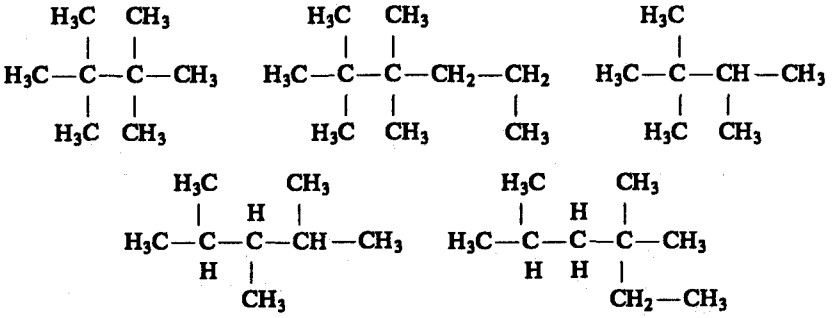
Приведите формулу гомолога этого соединения, имеющего на два водородных атома меньше и с четырьмя вторичными атомами углерода.

1941. Назовите следующее соединение:



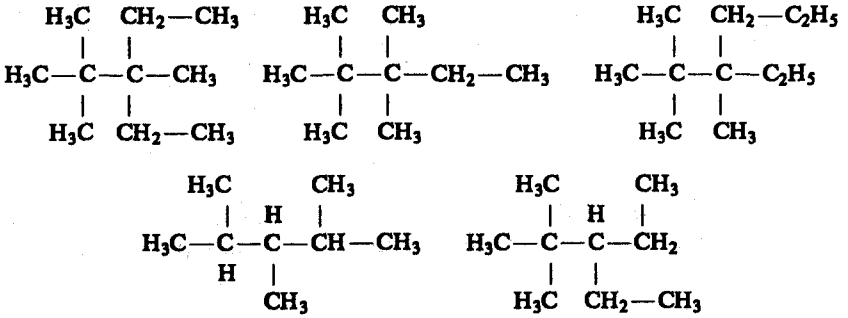
Приведите формулу гомолога этого соединения, имеющего на один углеродный атом меньше. В молекуле этого гомолога должны быть только первичные и четвертичные атомы углерода.

1942. Среди приведенных соединений выберите изомеры:



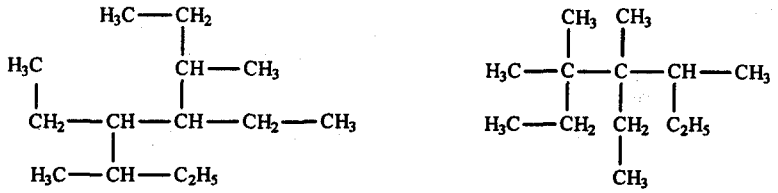
Назовите выбранные соединения.

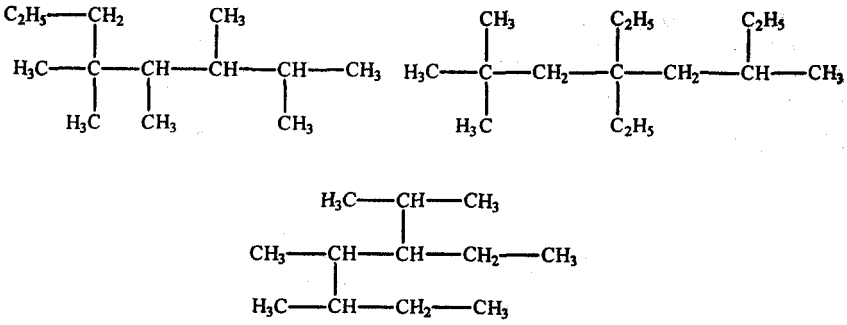
1943. Среди приведенных соединений выберите изомеры:



Назовите выбранные соединения.

1944. Среди приведенных соединений выберите изомеры:





Назовите выбранные соединения.

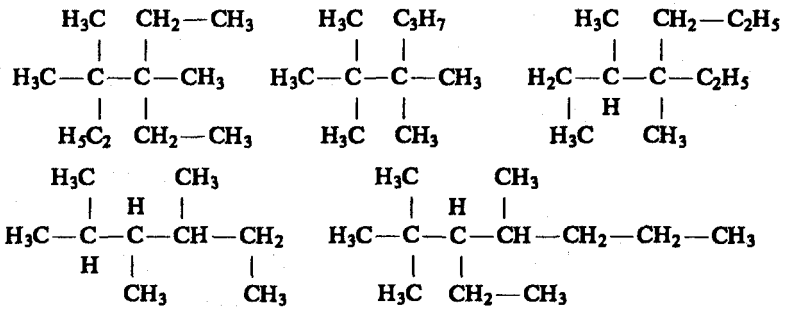
1945. Из перечисленных соединений выберите пару изомеров и напишите их структурные формулы: 2,3,3-триметилпентан, диэтилпентан, 2,5-диметил-3,4-диэтилгексан, 2-метилдиэтилпентан, 3,3,4-триметилгексан.

1946. Из перечисленных соединений выберите пару изомеров и напишите их структурные формулы: 2,7-диметилнонан, 2-метил-4-этилнонан, 4-метил-4-этилдекан, 2-метил-4-пропилдекан, 4-пропил-4-этилоктан.

1947. Из перечисленных соединений выберите пару изомеров и напишите их структурные формулы: 2,2,5-триметилгексан, 3,4,5-триэтилгептан, 2,5-диметил-3,4-диэтилгексан; 2-метил-4,4-диэтилгептан, 3,3,4,4-тетраметилгексан.

1948. Из перечисленных соединений выберите пару изомеров и напишите их структурные формулы: 4-метилгептан, 3-метил-3-этилоктан, 2,3-диметилоктан, 4-метилоктан, 3,4-диэтилгексан.

1949. Среди приведенных соединений выберите изомеры:



Назовите выбранные соединения.

1950. В молекуле алкана имеются только первичные и третичные атомы углерода. Первичных атомов в два раза больше третичных. Напишите формулу такого алкана.

1951. В молекуле алкана имеются только первичные и вторичные атомы углерода. Вторичных атомов в два раза больше первичных. Напишите формулу такого алкана.

1952. Приведите формулу алкана, в молекуле которого кроме первичных атомов углерода имеются по одному вторичному и третичному атому углерода.

1953. Приведите формулу алкана, в молекуле которого имеются шесть первичных атомов углерода, но нет вторичных и третичных атомов углерода.

1954. В молекуле одного из алканов находится 34 e^-. Составьте структурные формулы всех его изомеров.

1955. Число вторичных атомов углерода в алкане равно n, число третичных m, четвертичных атомов нет. Сколько в этом алкане имеется первичных атомов? Сколько в этом углеводороде всего атомов углерода? Сколько атомов водорода?

1956. Приведите четыре формулы простых газообразных при н. у. веществ, которые будут тяжелее второго члена гомологического ряда алканов, но легче четвертого члена того же ряда.

1957. Приведите формулу сложного газообразного вещества, имеющего одинаковую плотность по водороду с третьим членом гомологического ряда алканов. Приведите ионное уравнение реакции, в ходе которой получается это вещество.

1958. Приведите формулу простого газообразного вещества, которое легче четвертого члена гомологического ряда алканов, но тяжелее третьего члена того же ряда. Напишите одно уравнение реакции, в которое вступает это вещество.

1959. Приведите формулу простого газообразного вещества, которое легче второго члена гомологического ряда алканов, но тяжелее первого члена того же ряда. Напишите одно уравнение реакции, в которое вступает это вещество.

1960. Какое простое газообразное вещество, будучи легче третьего члена гомологического ряда алканов, но тяжелее второго члена того же ряда, может вступать в реакции с этими алканами? Напишите уравнения этих реакций.

1961. При добавлении какого газа к смеси равных объемов метана и пропана плотность ее по воздуху не изменится?

1962. При добавлении какого газа к смеси равных объемов метана и углекислого газа плотность ее по водороду: а) увеличится; б) уменьшится? Приведите по два примера в каждом случае.

1963. Установите строение углеводорода, при сгорании одного объема которого образуется шесть объемов углекислого газа, а при хлорировании на свету только два монохлорпроизводных. Напишите уравнения реакций.

1964. Какие вещества нужно взять для получения по реакции Вюрца: а) тетраметилбутана; б) 3,4-диметилгексана; в) 2,5-диметилгексана; г) 3,4-диэтилгексана? Напишите уравнения реакций.

1965. Исходя из карбида алюминия, получите хлорбромметан без использования других органических веществ. Напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания.

1966. Как из ацетата калия, не используя других углеродсодержащих веществ, получить оксид углерода (II)? Напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания.

1967. Исходя из иодметана, получите хлорэтан без использования других органических веществ. Напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания.

1968. Исходя из бромметана, получите этилен без использования других органических веществ. Напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания.

1969. Напишите две реакции хлорирования хлорэтана (отличающиеся молярным соотношением алкан : галоген), в ходе которых образуется индивидуальное вещество (т. е. не может образоваться смесь изомеров).

1970. При хлорировании смеси двух изомерных пентанов было выделено всего четыре разных моногалогеналкана. Какие изомеры пентана подвергли хлорированию?

1971. Напишите две реакции взаимодействия диметилпропана с хлором при молярном соотношении 1 : 1 и 1 : 2. Укажите в каждом случае, является ли продукт реакции индивидуальным веществом или смесью изомеров. Если образуется смесь изомеров, укажите, какой из них является преобладающим.

1972. Составьте уравнения реакций в соответствии со схемой:

$$CH_4 \xrightarrow{+X_1} A \xrightarrow{+X_2} B \xrightarrow{+X_1} C \xrightarrow{+X_2} C_4H_{10}$$

1973. Какой газообразный алкан имеет при нормальных условиях плотность 1,339 г/л?

1974. Оксид углерода (IV) смешали с одним из алканов. В этой газовой смеси объемная доля углекислого газа составила 50%, а массовая доля — 73,3%. Какой алкан находился в смеси?

1975. В смеси двух бромпроизводных бутана, различающихся на 1 атом брома, число электронов в 11,5 раза больше числа атомов. Установите состав соединений, рассчитайте их массовые доли. Для того вещества, массовая доля которого больше, приведите формулы всех структурных изомеров, содержащих 3 первичных атома углерода.

1976. Для сжигания алкана объемом 20,0 л потребовался кислород объемом 160 л (н. у.). Установите, какой алкан вступил в реакцию.

1977. Для сжигания порции алкана, содержащей $1 \cdot 10^{23}$ молекул, требуется порция кислорода, содержащая $1{,}6 \cdot 10^{24}$ атомов. Установите состав и возможное строение (все изомеры) алкана.

1978. Алкан с разветвленным углеродным скелетом смешали с воздухом в объемном соотношении 1:35. После поджигания смеси алкан сгорел полностью. Установите, какой это алкан.

1979. К некоторому объему алкана добавили в 10 раз больший объем смеси азота и кислорода с плотностью при нормальных условиях 1,357 г/л, после чего смесь взорвали в закрытом сосуде. Алкан сгорел полностью. Объемная доля азота в полученной газовой смеси после приведения ее к нормальным условиям составила 50%. Установите, какой алкан окислили.

1980. Образование трихлорметана из метана прошло с выходом 55,0%. Какая масса целевого продукта была получена, если в реакцию вступил метан объемом 5,60 л (н. у.)?

1981. Хлорирование этана прошло с выходом 80,0%. Какой объем (н. у.) хлорэтана образуется, если для реакции взято 40,0 г этана?

1982. Хлорметан массой 101 г прохлорировали, в результате чего образовалась смесь дихлорметана и трихлорметана в молярном соотношении 1:2. Вычислите объем хлороводорода (н. у.), выделившегося в ходе реакции.

1983. Хлорэтан прохлорировали. Среди органических веществ, находящихся в реакционной смеси, оказались только изомерные дихлорэтаны и трихлорэтаны. Их общая масса равна 50,0 г, причем суммарная масса дихлорэтанов в этой смеси на 10,0 г больше суммарной массы трихлорэтанов. Вычислите объем хлора (н. у.), вступившего в реакцию.

1984. Смесь пропана и его ближайшего гомолога прохлорировали. Относительная плотность по воздуху паров смеси образовавшихся монохлоралканов составила 2,83. Установите, какие монохлоралканы образовались, и вычислите объемные доли алканов в исходной смеси. (Выход реакции монохлорирования условно считать равным 100%.)

1985. При бромировании 1-бромпропана была выделена смесь изомерных дибромпропанов и трибромпропанов общей массой 10,0 г (считать, что другие бромпроизводные не образовались). Массовая доля брома в выделенной смеси бромпроизводных равна 82,0%. Вычислите массу галогеналкана, вступившего в реакцию.

1986. Смешали 1,00 л этана и 25,0 л воздуха. Смесь подожгли. Вычислите объемные доли веществ в смеси после конденсации паров воды. Объемы газов измерены при одинаковых условиях.

1987. Смешали 1,00 л этана и 25,0 г воздуха. Смесь подожгли. Вычислите объемные доли веществ в смеси после конденсации паров воды. Объем этана измерен при нормальных условиях.

1988. Смешали 1,00 г этана и 25,0 л воздуха. Смесь подожгли. Вычислите объемные доли веществ в смеси после конденсации паров воды. Объем воздуха измерен при нормальных условиях.

1989. Смешали 1,00 г этана и 25,0 г воздуха. Смесь подожгли. Вычислите объемные доли веществ в смеси после конденсации паров воды.

1990. Смесь пропана и метилпропана объемом 25,0 л (н. у.) полностью сожгли, продукты горения пропустили через избыток известковой воды. Вычислите массу образовавшегося осадка, если известно, что объемная доля более легкого углеводорода в исходной смеси составляла 25,0%.

1991. Смесь метилбутана и азота объемом 500 мл (н. у.) смешали с избытком кислорода и подожгли. Продукты горения пропустили через избыток известковой воды, при этом образовался осадок массой 2,00 г. Чему была равна объемная доля углеводорода в исходной газовой смеси?

1992. Монохлоралкан массой 30,0 г, в котором массовая доля хлора равна 55,0%, подвергли радикальному хлорированию, в результате чего массовая доля хлора в органическом соединении возросла в 1,536 раза. Вычислите массу выделившегося в ходе реакции хлороводорода.

1993. Алкан, для сгорания которого требуется объем кислорода в 8 раз больше объема паров алкана, подвергли хлорированию. Масса алкана равна 75 г. Выход суммы монохлорпроизводных равен 65,0%. Чему равна суммарная масса образовавшихся галогеналканов?

1994. При окислении паров алкана получили 40 г смеси оксидов углерода, в которой объемная доля угарного газа меньше объемной доли углекислого газа. Объем израсходованного кислорода оказался в 7,5 раза больше объема алкана (измерено при одинаковых условиях). Вычислите массу исходного алкана.

1995. Какую массу иодэтана нужно взять для получения 0,560 л (н. у.) алкана по реакции Вюрца, проходящей с выходом 60,0%?

1996. Какой объем 2-иодпропана (пл. 1,703 г/мл) нужно взять для синтеза одного из изомеров гексана массой 6,02 г при условии, что реакция протекает с выходом 55,0%?

1997. 1-Иодбутан объемом 28,4 мл (пл. 1,617 г/мл) обработали избытком натрия, при этом получили 14,2 мл октана (пл. 0,703 г/мл). Вычислите выход (%) целевого продукта реакции.

1998. В ходе реакции Вюрца образовался 2,7-диметилоктан массой 10 г. Известно, что выход реакции равен 90%. Вычислите, какую массу хлоралкана взяли для проведения синтеза.

1999. В результате термического крекинга бутана, прошедшего с разрывом только одной С—С-связи в каждой молекуле, образовалась смесь алканов и алкенов, массовая доля пропена в которой оставила 14,48%. Вычислите объемные доли метана и этана в этой смеси.

2000. Крекинг бутана прошел на 100%, при этом образовалось только два углеводорода. Вычислите массу каждого из них, если в реакцию вступило 10,0 м^3 бутана (н. у.).

2001. Карбид алюминия массой 2,88 г обработали избытком водного раствора гидроксида калия, при этом выделился газ объемом 1,00 л (н. у.). Вычислите выход (%) продукта реакции.

2002. При обработке карбида алюминия разбавленным раствором азотной кислоты выделился газ объемом 0,100 л (н. у.). Реакция прошла с выходом, равным 75,0%. Какая масса карбида алюминия была взята для проведения реакции?

2003. Бромметан массой 3,80 г обработали избытком натрия. Вычислите объем образовавшегося алкана (н. у.), если известно, что реакция прошла с выходом 55,0%.

2004. Избыток 2-хлорбутана обработали натрием. В образовавшейся после удаления соли смеси веществ третичных атомов углерода оказалось в 3 раза меньше вторичных атомов углерода. Масса атомов хлора в этой смеси составила 0,71 г. Вычислите массу исходного галогеналкана.

2005. Ацетат калия массой 2,94 г нагрели с избытком гидроксида калия. При этом образовалось 0,500 л газа (н. у.). Вычислите выход (%) продукта реакции.

2006. Смесь ацетата калия и гидроксида калия общей массой 10 г нагрели. Вычислите объем газообразного продукта реакции (н. у.), если известно, что оба вещества вступили в реакцию полностью.

2007. Смесь объемом 1100 мл, содержащая этан и кислород, подожгли. После сгорания всего углеводорода и конденсации паров воды объем смеси сократился до 600 мл (объемы измерялись при одинаковых условиях). Вычислите объемные доли газов в исходной и конечной смесях.

2008. Смесь алкана и кислорода, объемное соотношение которых соответствует стехиометрическому, после сгорания, конденсации паров воды и приведения к исходным условиям сократилась по объему вдвое. Установите строение алкана, входившего в состав смеси.

2009. Смесь алкана и кислорода, объемное соотношение которых соответствует стехиометрическому, после сгорания, конденсации паров воды и приведения к исходным условиям сократилась по объему в 1,8 раза. Установите строение алкана, входившего в состав смеси, если известно, что в его молекуле четыре первичных атома углерода.

2010. Смесь объемом 900 мл, содержащая бутан и кислород, подожгли. После сгорания всего углеводорода и конденсации паров воды объем смеси сократился до 550 мл (объемы измеря-

лись при одинаковых условиях). Вычислите объемные доли газов в исходной и конечной смесях.

2011. Алкан дегидрировали. Смесь алкена и алкина, оставшаяся после отделения водорода, заняла при н. у. объем 224 мл; масса ее оказалась равной 0,552 г. Вычислите массу алкана, подвергшегося дегидрированию.

2012. При сгорании 1,00 моль этана выделяется 1560 кДж, а 1,00 моль бутана — 2880 кДж теплоты. При сгорании 52,4 г смеси этих углеводородов выделилось 2626 кДж теплоты. Вычислите объемные доли веществ в исходной смеси.

2013. При сгорании 1,00 г этана выделяется 52,0 кДж, а 1,00 г бутана — 49,7 кДж теплоты. При сгорании 35,6 г смеси этих углеводородов выделилось 1822 кДж теплоты. Вычислите массовые доли веществ в смеси продуктов сгорания алканов.

2014. При сгорании 1,00 моль бутана выделяется 2880 кДж теплоты. В гомологическом ряду алканов теплота сгорания увеличивается на 660 кДж на каждый моль CH_2-групп. Какое количество теплоты выделится при сгорании: а) 1,00 л (н. у.) этана; б) 1,00 г гексана?

2015. При бромировании 100,1 г смеси бромалкана и дибромалкана получили смесь, состоящую только из изомерных тетрабромалканов, общей массой 187 г. Массовая доля брома в этой смеси равна 85,56%. Вычислите массовую долю брома в исходной смеси.

2016. При хлорировании 49,6 г смеси монохлоралкана и дихлоралкана была получена смесь, состоящая только из изомерных трихлоралканов общей массой 73,75 г с относительной плотностью паров по метану 9,22. Вычислите массовую долю хлора в исходной смеси.

2017. При бромировании пропана получили смесь моно- и дибромпроизводных, в которой массовая доля брома равна 76,6%. Число атомов углерода, у которых на атомы брома замещены по два атома водорода, в 1,5 раза больше числа атомов углерода, у которых замещен только один атом водорода. Выход 1,3-дибромпропана составил 2%. Вычислите выход 1,2-дибромпропана.

2018. При хлорировании смеси алканов, имеющей плотность 1,089 г/л (н. у.), выделено только три монохлорпроизводных, в двух из которых массовые доли хлора равны между собой. Массовая доля в смеси хлоралканов более легкого галогенпроизводного составляет 68,59%. Вычислите массовые доли алканов в исходной смеси.

2019. Имеется смесь алканов с разветвленным углеродным скелетом, плотность ее паров по воздуху равна 2,193. При хлори-

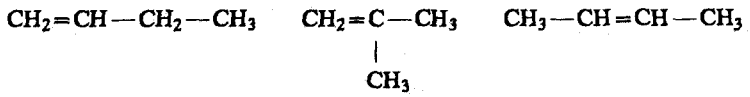
рования этой смеси выделено только две пары изомерных монохлорпроизводных, причем массовая доля более легких изомеров в смеси хлоралканов составляет 75,54%. Вычислите массовые доли алканов в исходной смеси.

2020. Плотность по воздуху паров смеси алканов равна 1,8069. При бромировании этой смеси выделено только две пары изомерных монобромалканов. Суммарная масса более легких изомеров в смеси бромалканов в 2,982 раза больше массы более тяжелых изомеров. Вычислите массовые доли алканов в исходной смеси.

3.2. НЕЦИКЛИЧЕСКИЕ УГЛЕВОДОРОДЫ С КРАТНЫМИ СВЯЗЯМИ

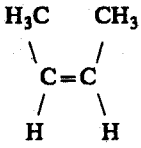
К *ненасыщенным относят* углеводороды, имеющие в молекуле одну или несколько кратных связей. В отличие от алканов существует много гомологических рядов ненасыщенных углеводородов. В гомологический ряд объединяют органические вещества, имеющие одинаковый состав, сходные черты строения и общие химические свойства.

Алкены — гомологический ряд углеводородов, в молекулах которых имеется одна связь C=C. Общая формула всех алкенов C_nH_{2n}. Названия алкенов образуются от названий алканов с тем же числом атомов углерода путем замены суффикса *-ан* на суффикс *-ен*. Первый член гомологического ряда алкенов C_2H_4 часто называют этиленом. Электронные орбитали атомов углерода, образующих двойную связь, находятся в состоянии sp^2-гибридизации. Алкены образуют структурные изомеры не только из-за разветвления углеродного скелета, но и за счет различного расположения двойной связи в молекуле:

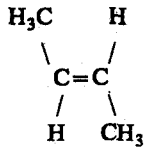


бутен-1 метилпропен бутен-2

Многие алкены могут существовать в виде *пространственных* изомеров (стереоизомеров). Для алкенов характерна *цис-транс*-изомерия, обусловленная различным расположением заместителей у двух атомов углерода, связанных двойной связью. Одинаковые заместители могут находиться либо по одну сторону плоскости π-связи алкенового фрагмента (*цис*-изомер), либо по разные стороны (*транс*-изомер), например для бутена-2:



цис-бутен-2



транс-бутен-2

Алкены с концевой двойной связью *цис-транс*-изомеров не имеют.

При отщеплении от молекулы алкена атома водорода возникает ненасыщенный радикал, например: винил $CH_2=CH-$, аллил $CH_2=CH-CH_2-$.

По физическим свойствам алкены весьма схожи с алканами. По мере увеличения молярной массы повышаются температуры кипения и плавления; этилен, пропен и бутены при обычных условиях — газы, алкены C_5-C_{17} — жидкости, алкены с большим числом атомов углерода — твердые вещества. Алкены практически не растворяются в воде и хорошо растворяются во многих органических растворителях.

Для алкенов наиболее характерны реакции присоединения (электрофильное присоединение A_E):

а) галогенирование

$$R-CH=CH-R'+Br_2 \rightarrow R-CHBr-CHBr-R'$$

б) гидрогалогенирование (присоединение галогеноводорода):

$$R-CH=CH_2+HI \rightarrow R-CHI-CH_3$$

в) гидратация (при нагревании в присутствии кислоты в качестве катализатора):

$$R-CH=CH_2+H_2O \rightarrow R-CH(OH)-CH_3$$

Присоединение галогеноводорода и воды к несимметричным алкенам проходит преимущественно по правилу Марковникова (водород присоединяется к тому атому углерода, который связан с большим числом атомов водорода), например:

$$H_3C-CH=CH_2+H_2O \rightarrow \underset{\underset{\text{пропанол-2}}{\text{OH}}}{H_3C-CH-CH_3}$$

Наряду с пропанолом-2 (основным продуктом) образуется также побочный продукт — пропанол-1 $CH_3-CH_2-CH_2-OH$.

Алкены также вступают в реакции гидрирования (при умеренном нагревании, при повышенном давлении и в присутствии

катализатора — платиновой черни или никеля). Уравнение в общем виде:

$$C_nH_{2n} + H_2 \rightarrow C_nH_{2n+2}$$

При более высокой температуре на тех же катализаторах могут протекать процессы дегидрирования. Приведем простейший пример:

$$C_2H_4 \rightarrow HC \equiv CH + H_2$$

При дегидрировании гомологов с четырьмя и больше атомами углерода в молекуле могут образовываться не только тройные, но и дополнительные двойные связи, например:

$$\underset{\text{бутен-1}}{CH_2=CH-CH_2-CH_3} \rightarrow \underset{\text{бутадиен-1,3}}{H_2C=CH-CH=CH_2} + H_2$$

Для ненасыщенных соединений характерны реакции полимеризации — последовательное соединение одинаковых молекул (мономеров) в более крупные (полимеры), например:

$$nCH_2=CH_2 \rightarrow [-CH_2-CH_2-]_n$$

На схеме показан результат процесса полимеризации этилена (мономер) в полиэтилен (полимер). Многократно повторяющаяся группа атомов (в данном случае $-CH_2-CH_2-$) называется элементарным звеном. Число n — степень полимеризации.

Алкены могут окисляться в значительно более мягких условиях, чем алканы. Так, например, они реагируют с перманганатом калия в слабощелочном растворе с образованием двухатомных спиртов — гликолей:

$$3CH_2=CH_2 + 2KMnO_4 + 4H_2O \rightarrow 3HO-CH_2-CH_2-OH + 2MnO_2\downarrow + 2KOH$$

С определением степеней окисления атомов в молекулах органических веществ часто возникают трудности (именно в этих случаях виден формальный характер этого понятия). Для составления окислительно-восстановительных реакций с участием органических веществ и расстановки коэффициентов можно пользоваться упрощенным подходом в определении процессов окисления или восстановления. Появление в молекуле органического вещества в ходе реакции атома кислорода или удаление атома водорода рассматривается как окисление; явления противоположного характера — появление атома водорода, удаление атома кислорода — как восстановление. Таким образом, для приведенного выше уравнения будет справедлив такой электронный баланс:

$$\begin{array}{l|l} \overset{+7}{\mathrm{Mn}} + 3e^- \rightarrow \overset{+4}{\mathrm{Mn}} & 2 \\ \mathrm{C_2H_4} - 2e^- \rightarrow \mathrm{C_2H_4(OH)_2} & 3 \end{array}$$

В кислой среде процесс окисления протекает более глубоко (с разрывом двойной связи), например:

$$5\mathrm{CH_3-CH=CH-CH_3} + 8\mathrm{KMnO_4} + 12\mathrm{H_2SO_4} \rightarrow$$
$$\rightarrow 10\mathrm{CH_3-COOH} + 8\mathrm{MnSO_4} + 4\mathrm{K_2SO_4} + 12\mathrm{H_2O}$$

Окисление этилена до ацетальдегида в присутствии хлорида палладия (катализатор) — одна из важнейших реакций синтеза кислородсодержащих органических веществ из углеводородов:

$$2\mathrm{CH_2=CH_2} + \mathrm{O_2} \rightarrow 2\mathrm{CH_3-C}\begin{matrix}\overset{\overset{\mathrm{O}}{//}}{} \\ \underset{\underset{\mathrm{H}}{|}}{}\end{matrix}$$

Существуют следующие способы получения алкенов.

Дегалогенирование вицинальных дигалогеналканов (термин «вицинальный» означает, что заместители стоят у соседних атомов углерода) нагреванием с активными металлами (магнием, алюминием, цинком), например:

$$\mathrm{CH_2Br-CH_2Br} + \mathrm{Zn} \rightarrow \mathrm{ZnBr_2} + \mathrm{CH_2=CH_2}$$

Дегидрогалогенирование галогеналканов нагреванием со спиртовым раствором щелочи, например:

$$\mathrm{CH_2Br-CH_2-CH_3} + \mathrm{KOH\ (спирт.\ р\text{-}р)} \rightarrow \mathrm{CH_2=CH-CH_3} + \mathrm{KBr} + \mathrm{H_2O}$$

Дегидратация спиртов (нагревание в присутствии кислоты), например:

$$\mathrm{CH_3-CH(OH)-CH_2-CH_3} \rightarrow \underset{\text{бутен-2}}{\mathrm{CH_3-CH=CH-CH_3}} + \mathrm{H_2O}$$

Реакции дегидрогалогенирования и дегидратации подчиняются правилу Зайцева: водород преимущественно отщепляется от менее гидрогенизированного атома углерода. Бутен-1, образующийся при отщеплении водорода от более гидрогенизированного атома углерода, в приведенной выше реакции является побочным продуктом.

Дегидрирование алканов нагреванием в присутствии катализаторов (Pt или Ni), например:

$$\mathrm{C_3H_8} \rightarrow \mathrm{CH_2=CH-CH_3} + \mathrm{H_2}$$

Алкадиены — углеводороды, в молекулах которых имеются две двойные связи. Общая формула алкадиенов C_nH_{2n-2}. Различают три типа алкадиенов. В изолированных алкадиенах двойные связи разделены двумя или более одинарными связями, как, например, в пентадиене-1,4: $H_2C=CH-CH_2-CH=CH_2$. В сопряженных алкадиенах двойные связи разделены только одной одинарной связью, как, например, в пентадиене-1,3: $H_2C=CH-CH=CH-CH_3$. В кумулированных алкадиенах (кумуленах) двойные связи располагаются рядом, как, например, в пентадиене-1,2: $H_2C=C=CH-CH_2-CH_3$. Сопряженные, изолированные и кумулированные алкадиены значительно различаются по свойствам и образуют разные гомологические ряды. Изолированные алкадиены мало чем отличаются по свойствам от алкенов, так как двойные связи мало влияют друг на друга. Кумулены в школьном курсе не рассматриваются (в различных упражнениях по написанию изомеров этот тип алкадиенов можно не указывать). Сопряженные алкадиены имеют особенности химического поведения, на которые обратим внимание. Так, для сопряженных алкадиенов характерен особый тип присоединения — 1,4-присоединение, характеризующееся перемещением двойной связи, например:

$$\underset{\text{бутадиен-1,3}}{H_2C=CH-CH=CH_2}+Br_2\rightarrow H_2CBr-CH=CH-CH_2Br$$

$$H_2C=CH-CH=CH_2+HBr\rightarrow H_2CBr-CH=CH-CH_3$$

Бутадиен-1,3, на примере которого было показано 1,4-присоединение, не вступает в реакцию гидратации, так как в тех условиях, в которых она должна была бы проходить (нагревание в присутствии кислоты), происходит его полимеризация.

В живой природе существует большое число соединений, образовавшихся в результате полимеризации сопряженных алкадиенов или их производных. Наиболее простое из них — природный каучук, который можно рассматривать как продукт полимеризации изопрена:

$$n\,CH_2=\underset{\displaystyle CH_3}{\overset{\displaystyle |}{C}}-CH=CH_2\rightarrow\left[-CH_2-\underset{\displaystyle CH_3}{\overset{\displaystyle |}{C}}=CH-CH_2-\right]_n$$

Полимеризацией бутадиена и его производных получают различные синтетические каучуки.

Сопряженные алкадиены получают в основном из алканов. Бутадиен получается в результате реакции дегидрирования — дегидратации этанола нагреванием до 450 °С в присутствии катализаторов (оксиды алюминия и цинка):

$$2C_2H_5OH \rightarrow H_2C{=}CH{-}CH{=}CH_2 + 2H_2O + H_2$$

В молекулах *алкинов* имеется одна тройная связь $C{\equiv}C$ (орбитали атомов углерода в *sp*-гибридизации). Родоначальником гомологического ряда алкинов является ацетилен $CH{\equiv}CH$, поэтому алкины часто называют ацетиленовыми углеводородами. Алкины, как и алкены, вступают в реакции A_E, однако являются менее реакционноспособными. Например:

а) галогенирование

$$CH{\equiv}CH + Cl_2 \rightarrow CHCl{=}CHCl$$

Хлорирование проводят в инертном растворителе, например в тетрахлориде углерода CCl_4, так как при проведении реакции в газовой фазе происходит разрушение углеродного скелета:

$$C_2H_2 + Cl_2 \rightarrow 2HCl + 2C$$

б) гидрогалогенирование

$$CH{\equiv}CH + HCl \rightarrow CH_2{=}CHCl$$

С достаточной скоростью реакция протекает только в присутствии катализаторов — солей ртути.

в) гидратация (в водном растворе при незначительном нагревании в присутствии солей ртути в качестве катализатора). При гидратации ацетилена образуется уксусный альдегид, при гидратации гомологов ацетилена образуются кетоны:

$$CH{\equiv}CH + H_2O \rightarrow CH_3{-}C(=O){-}H$$

$$CH{\equiv}C{-}CH_3 + H_2O \rightarrow CH_3{-}C(=O){-}CH_3$$

Промежуточными продуктами в обеих реакциях являются еноды — неустойчивые соединения, имеющие в структуре атом углерода, связанный с гидроксильной группой и с другим атомом углерода двойной связью.

При димеризации ацетилена, протекающей в подкисленном растворе в присутствии смеси $CuCl + NH_4Cl$, образуется винилацетилен — соединение, в структуре которого имеются и двойная, и тройная связи:

$$2C_2H_2 \rightarrow HC{\equiv}C{-}CH{=}CH_2$$

При циклотримеризации ацетилена образуется бензол:

$$3C_2H_2 \rightarrow C_6H_6$$

Реакция протекает при пропускании ацетилена через активированный уголь при 600 °С.

Ацетиленовые углеводороды гидрируются с образованием алкенов и алканов.

Окисление ацетилена перманганатом калия в нейтральной среде приводит к образованию оксалата калия — соли щавелевой кислоты $H_2C_2O_4$:

$$3CH \equiv CH + 8KMnO_4 \rightarrow 3K_2C_2O_4 + 8MnO_2\downarrow + 2KOH$$

Ацетилен и ацетиленовые углеводороды с концевой тройной связью реагируют с амминокомплексами серебра (I) и меди (I), образуя нерастворимые ацетилениды, например:

$$CH \equiv CH + 2[Ag(NH_3)_2]OH \rightarrow AgC \equiv CAg + 4NH_3 + 2H_2O$$

$$CH_3 - C \equiv CH + [Cu(NH_3)_2]OH \rightarrow CH_3 - C \equiv CCu + 2NH_3 + H_2O$$

Существуют следующие способы получения алкинов.

Дегидрирование алкенов:

$$C_nH_{2n} \rightarrow C_nH_{2n-2} + H_2$$

Дегидрогалогенирование дигалогеналканов, например:

$$CH_2Br - CH_2Br + 2KOH \text{ (спирт. р-р)} \rightarrow CH \equiv CH + 2KBr + 2H_2O$$

Ацетилен получают из метана и карбида кальция (уравнения этих реакций приводились выше).

Существуют и другие ненасыщенные углеводороды: алкатриены (три двойные связи) и полиены (четыре и больше двойных связей), алкадиины (две тройные связи) и др.

Пример 59. При пропускании алкена через избыток раствор перманганата калия масса выпавшего осадка оказалась в 2,07 раза больше массы исходного алкена. *Установите строение алкена.*

Решение. Запишем уравнение реакции окисления алкена:

$$3C_nH_{2n} + 2KMnO_4 + 4H_2O \rightarrow 3C_nH_{2n}(OH)_2 + 2MnO_2\downarrow + 2KOH$$

Пусть $\nu(C_nH_{2n}) = x$, тогда по уравнению реакции

$$\nu(MnO_2) = {}^2/_3\nu(C_nH_{2n}) = 0{,}6667x.$$

Выразим массы алкена и оксида марганца (IV) по формуле

$$m = M\nu;\ m(C_nH_{2n}) = 14nx;\ m(MnO_2) = 87 \cdot 0{,}6667x = 58x.$$

По условию задачи $m(MnO_2) = 2{,}07m(C_nH_{2n})$, т. е. $58x = 2{,}07 \cdot 14nx$; откуда $n = 2$, следовательно, искомое соединение — этилен $CH_2 = CH_2$.

Пример 60. Какой объем пропина (н. у.) пропустили через 50,0 г 3,20%-го раствора брома в тетрахлорметане, если в результате образовались два разных бромпроизводных в равных количествах?

Решение. В результате бромирования пропина образовались 1,2-дибромпропен-1 и 1,1,2,2-тетрабромпропан:

$$CH_3—C \equiv CH + Br_2 \rightarrow CH_3—CBr = CHBr \quad (I)$$

$$CH_3—CBr = CHBr + Br_2 \rightarrow CH_3—CBr_2—CHBr_2 \quad (II)$$

Вычислим количество вещества брома в исходном уравнении по формуле

$$m(Br_2)_{исх} = m(Br_2,р\text{-}р)\,\omega(Br_2) : M(Br_2);\ m(Br_2)_{исх} = 50 \cdot 0{,}032 : 160 = 0{,}01 \text{ моль}.$$

Пусть $\nu(C_3H_4) = x$ (моль); тогда по уравнению реакции (I):

$$\nu(C_3H_4) = \nu(C_3H_4Br_2) = \nu(Br_2)_{встI} = x.$$

По условию задачи $\nu(C_3H_4Br_2)_{ост} = \nu(C_3H_4Br_4)_{обр}$, следовательно, $\nu(C_3H_4Br_2)_{ост} = \nu(C_3H_4Br_4)_{обр} = 0{,}5x$.

По уравнению реакции (II):

$$\nu(Br_2)_{встII} = \nu(C_3H_4Br_4) = 0{,}5x.$$

Поскольку $\nu(Br_2)_{исх} = \nu(Br_2)_{встI} + \nu(Br_2)_{встII}$, составляем уравнение:

$$0{,}01 = x + 0{,}5x;\ \text{откуда } x = 0{,}006667 \text{ моль}.$$

Объем пропина вычислим по формуле

$$V(C_3H_4) = \nu(C_3H_4)V_m;\ V(C_3H_4) = 0{,}006667 \cdot 22{,}4 = 0{,}149 \text{ л или } 149 \text{ мл}.$$

Пример 61. Смесь пропана, бутена-1, ацетилена и 1,2-дихлорпропана имеет в парах плотность по углекислому газу 1,334. После обработки исходной смеси избытком магния при нагревании плотность паров по углекислому газу при тех же условиях снизилась до 0,850. После обработки исходной смеси избытком бромоводорода плотность паров по углекислому газу возросла до 2,991. Вычислите объемные доли веществ в парах исходной смеси.

Решение. Вычислим средние молярные массы газообразных смесей по формуле

$$M_{ср} = D_{угл.газ}M(CO_2);$$

для исходной смеси

$$M_1 = 1{,}334 \cdot 44 = 58{,}70;$$

для смеси после обработки магнием

$$M_2 = 0{,}85 \cdot 44 = 37{,}4;$$

для смеси после обработки бромоводородом

$$M_3 = 2{,}991 \cdot 44 = 131{,}6.$$

В реакцию с магнием вступает только 1,2-дихлорпропан:

$$CH_2Cl-CHCl-CH_3+Mg \rightarrow MgCl_2+CH_2=CH-CH_3 \qquad (I)$$

Пусть $\varphi(C_3H_6Cl_2)=x$; тогда $\varphi(C_4H_8+C_2H_2+C_3H_8)=1-x$.

После реакции с магнием в смеси вместо 1,2-дихлорпропана будет находиться пропен. Поскольку по уравнению реакции (I) $\nu(C_3H_6)=\nu(C_3H_6Cl_2)$, т. е. суммарное количество веществ не изменяется, то $\varphi(C_3H_6)=\varphi(C_3H_6Cl_2)=x$.

Воспользуемся формулой для вычисления средней молярной массы через объемные доли компонентов:

$$M_{ср}=M_1\varphi_1+M_2\varphi_2;$$

$$M_{ср1}=M(C_3H_6Cl_2)\,\varphi(C_3H_6Cl_2)+M_x\varphi_2(C_4H_8+C_2H_2+C_3H_8);$$

$$58{,}70=113x+M_x(1-x);$$

$$M_{ср2}=M(C_3H_6)\,\varphi(C_3H_6)+M_x\varphi_2(C_4H_8+C_2H_2+C_3H_8);$$

$$37{,}40=42x+M_x(1-x),$$

где M_x — средняя молярная масса смеси пропана, бутена-1 и ацетилена.

Составляем систему уравнений

$$\begin{cases}58{,}70=113x+M_x(1-x),\\ 37{,}40=42x+M_x(1-x),\ \text{откуда}\ x=0{,}30.\end{cases}$$

В реакцию с бромоводородом вступают бутен и ацетилен:

$$CH_2=CH-CH_2-CH_3+HBr \rightarrow CH_3-CHBr-CH_2-CH_3 \qquad (II)$$

$$CH\equiv CH+2HBr \rightarrow CH_3-CHBr_2 \qquad (III)$$

Пусть в исходной смеси $\varphi(C_4H_8)=y$; $\varphi(C_2H_2)=x$, тогда $\varphi(C_3H_8)=1-\varphi(C_3H_6Cl_2)-\varphi(C_4H_8)-\varphi(C_2H_2)=1-0{,}3-y-z=0{,}7-y-z$.

По уравнениям (II) и (III)

$$\nu(C_4H_9Br)=\nu(C_4H_8);\ \nu(C_2H_4Br_2)=\nu(C_2H_2).$$

Основываясь на рассуждениях, аналогичных предыдущим, запишем:

$$\varphi(C_4H_9Br)=\varphi(C_4H_8)=y;\ \varphi(C_2H_4Br_2)=\varphi(C_2H_2)=z.$$

Основываясь на следующих выражениях:

$$M_{ср1}=M(C_3H_6Cl_2)\,\varphi(C_3H_6Cl_2)+M(C_4H_8)\,\varphi(C_4H_8)+M(C_2H_2)\,\varphi(C_2H_2)+$$
$$+M(C_3H_8)\,\varphi(C_3H_8);$$

$$M_{ср3}=M(C_3H_6Cl_2)\,\varphi(C_3H_6Cl_2)+M(C_4H_9Br)\,\varphi(C_4H_9Br)+$$
$$+M(C_2H_4Br_2)\,\varphi(C_2H_4Br_2)+M(C_3H_8)\,\varphi(C_3H_8)$$

составим систему уравнений:

$$\begin{cases}58{,}70=113\cdot0{,}3+56y+26z+44\,(0{,}7-y-z);\\ 131{,}6=113\cdot0{,}3+137y+188z+44\,(0{,}7-y-z),\end{cases}$$

откуда $y=0{,}10$; $z=0{,}40$.

Таким образом, объемные доли были равны: 1,2-дихлорпропана — 30%; бутена-1 — 10%; ацетилена — 40%; пропана — 100% − 30% − 10% − 40% = 20%.

ВОПРОСЫ, УПРАЖНЕНИЯ И ЗАДАЧИ

2021. Какие углеводороды называются непредельными?

2022. Приведите общую формулу алкенов, алкинов, алкадиенов.

2023. Какой тип изомерии характерен для алкинов, но не возможен для алканов?

2024. Какой тип изомерии характерен для алкенов, но не возможен для алкинов?

2025. Какой из углеводородов, содержащий одинаковое число атомов углерода в молекуле, алкен или алкан, будет иметь большее число изомеров? Ответ поясните.

2026. В чем заключается разница в механизмах взаимодействия брома с алканами и алкенами?

2027. Сравните реакционную способность галогеноводородов в реакциях с алкенами.

2028. Какие углеводороды — алкены или алкины — легче вступают в реакции присоединения?

2029. Что такое реакция полимеризации?

2030. Сравните реакционную способность алкенов и алкинов.

2031. Приведите качественные реакции на двойную и тройную (концевую) связи.

2032. Сформулируйте правило Марковникова. Приведите пример реакции, иллюстрирующий это правило.

2033. Приведите уравнения реакций присоединения бромоводорода к бутену-1, к бутену-2.

2034. Напишите уравнение реакции гидратации 3,4-диметилпентена-1. При каких условиях протекает эта реакция?

2035. Как необходимо изменять температуру и давление для повышения выхода продуктов следующих реакций:

$$C_3H_6 + H_2 \rightarrow C_3H_8 \text{ (экзотермическая)}$$

$$C_3H_6 \rightarrow C_3H_4 + H_2 \text{ (эндотермическая)}$$

Ответ поясните.

2036. Приведите уравнение реакции 4,4-диметилпентена-2 с перманганатом калия в слабощелочной среде.

2037. Приведите уравнение реакции полимеризации 2,3-диметил-5-этилгептена-3.

2038. Приведите уравнение реакции, протекающей при нагревании между 3-бром-2,2-диметилпентаном и гидроксидом калия, взятом в виде спиртового раствора.

2039. Приведите уравнение реакции, протекающей при нагревании между 2,3-дииод-5-пропил-5-изопропилнонаном и магнием.

2040. Напишите уравнение реакции полимеризации диметилбутадиена.

2041. Напишите уравнения реакций гидратации бутина-1 и бутина-2. В каких условиях протекают эти реакции?

2042. Напишите уравнение реакции, протекающей при пропускании пропина через аммиачный раствор оксида меди (I).

2043. Напишите уравнения реакций, протекающей при нагревании с избытком спиртового раствора гидроксида натрия 3,4-дихлор-2,2,5,5-тетраметилгексана и 3,3-дихлор-2,2,5,5-тетраметилгексана.

2044. Приведите примеры использования углеводородов и галогеналканов в медицине.

2045. Назовите следующие углеводороды:

а) $CH_3-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}-CH_2-CH=CH_2$; б) $HC\equiv C-CH_2-CH=CH_2$;

в) $CH_2=CH-\underset{\displaystyle C_2H_5}{\underset{|}{C}}-C\equiv CH$; г) $CH_3-\underset{\displaystyle CH_2-C\equiv CH}{\underset{|}{CH}}-\underset{\displaystyle C\equiv CH}{\underset{|}{CH}}-CH_3$;

д) $\begin{matrix}CH_2=CH-C\equiv C\\ \qquad\qquad\quad |\\ H_2C=CH-CH_2-CH_2\end{matrix}$; е) $\begin{matrix}CH_3\\ |\\ C=CH-CH=CH-CH_3\\ |\\ CH_3\end{matrix}$;

ж) $CH_3-\underset{\displaystyle C_2H_5}{\underset{|}{C}}-CH=CH-\underset{\displaystyle C_2H_5}{\underset{|}{C}}-CH_3$;

з) $CH_2=\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{C}}-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{C}}=\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{C}}-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{C}}=\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{C}}-C=CH_2$;

и) $\begin{matrix}CH_3-CH-CH_3\\ \qquad\quad |\\ CH_2=C-CH_2-CH_2-C=CH_2\\ \qquad\quad |\\ CH_3-CH-CH_3\end{matrix}$.

Укажите, какие из перечисленных углеводородов могут существовать в *цис-транс*-форме. Напишите для них формулы *цис-транс*-изомеров.

2046. Назовите следующие галогенпроизводные углеводородов:

а) $CH_2Cl-CH_2-C\equiv C-CHCl-CH_2Cl$;

б) $CH_2Cl-CH_2-CH=CH-CH_2-CHCl_2$;

в) $CH_3-C(CH_3)=CBr-CH=CH-CH_2-CH_3$;

г) $CH_2=C(CH_3)-CH_2-CH(CHI_2)-CH(C_2H_5)$

Укажите, какие из перечисленных соединений могут существовать в виде стереоизомеров.

2047. Приведите формулу 2,3-диметилбутена-1 и формулу его гомолога с минимально возможным числом углеродных атомов и тремя метильными радикалами в основной цепи.

2048. Приведите формулу метилгексадиена, существующего в форме четырех пространственных изомеров. Приведите два гомолога этого углеводорода, имеющих на два атома водорода меньше. Один из гомологов должен существовать в форме только двух пространственных изомеров, а другой не должен иметь пространственных изомеров.

2049. Среди перечисленных соединений найдите пары изомеров: 2,3-диметилпентан, 2-метилпентадиен-1,3, 4,4-диметилпентин-1, 2,4-диметилпентадиен-1,3, 2,3,4-триметилпентан, 3-метил-3-этилпентин-1, 2,5-диметилгексен-1, 4-метилгептен-2. Напишите формулы выбранных соединений. Среди перечисленных выше соединений выберите то (те), которое имеет *цис-транс*-изомеры. Напишите формулы изомеров.

2050. Среди перечисленных соединений выберите для 4,4-диметилпентина-1 изомеры: триметилбутен, 2,3-диметилпентан, гептадиен-1,3, 3,4-диметилпентен-1, 3-этилпентадиен-1,3, 2,3-диметилбутан, 3,3,4-триметилпентин-1, 3,4-диметилгексадиен-1,5. Напишите формулы выбранных соединений.

2051. Какое простое газообразное вещество легче первого члена гомологического ряда алкенов, но тяжелее первого члена гомологического ряда алканов? Напишите электронную конфигурацию атома элемента, образующего это простое вещество.

2052. Приведите пять формул газообразных при н. у. веществ, молекулы которых состоят из двух атомов. Эти газы должны быть тяжелее первого члена гомологического ряда алкинов, но легче второго члена того же ряда.

2053. В молекуле алкадиена число атомов углерода и водорода различается на два. Приведите структурные формулы этого соединения и его изомера, не относящегося к диеновым углеводородам.

2054. В молекуле алкина число атомов углерода и водорода различается на три. Приведите структурные формулы этого соединения и его изомера, не относящегося к ацетиленовым углеводородам.

2055. Приведите формулы алкенов и алкинов, не имеющих изомеров.

2056. Какой простейший алкадиен может существовать в виде пары пространственных изомеров? Приведите формулы этих изомеров.

2057. Сколько алкенов, имеющих в молекуле шесть атомов углерода, может существовать в виде пар *цис-транс*-изомеров? Приведите структурные формулы этих алкенов, а для одного из них (по выбору) — формулы *цис-транс*-изомеров.

2058. Приведите молекулярную формулу углеводорода, которой соответствует только три структурных изомера, являющихся алкинами. Напишите формулы этих изомеров.

2059. Напишите формулы всех нециклических изомеров состава C_5H_6.

2060. Напишите формулу углеводорода, в молекуле которого имеется 10 σ-связей и 3 π-связи и который может существовать в виде *цис-* и *транс*-изомеров.

2061. Приведите формулу углеводорода разветвленного строения, в молекуле которого имеются 11 σ-связей и 1 π-связь.

2062. Приведите формулу углеводорода, в молекуле которого имеются: а) 6 σ-связей и 2 π-связи; б) 5 σ-связей и 4 π-связи.

2063. Приведите формулу нециклического углеводорода, в молекуле которого: а) имеются атомы углерода в состоянии sp^3-, sp^2- и sp-гибридизации; б) все четыре атома углерода находятся в состоянии sp-гибридизации; в) все четыре атома углерода находятся в состоянии sp^2-гибридизации.

2064. Приведите любой нециклический углеводород, в молекуле которого: а) имеются 2 π-связи, а атомы углерода находятся в состоянии только sp^3- и sp^2-гибридизации; б) имеются 3 π-связи, а атомы углерода находятся в состоянии только sp- и sp^2-гибридизации; в) имеются 2 π-связи, а атомы углерода находятся в состоянии только sp^3- и sp-гибридизации; г) имеются 3 π-связи и нет атомов углерода, находящихся в состоянии sp^3-гибридизации; д) имеются 3 π-связи и нет атомов углерода, находящихся в состоянии sp-гибридизации.

2065. Приведите пример углеводорода, в котором число σ-связей в 3 раза больше числа π-связей.

2066. Приведите формулу углеводорода неразветвленного строения, в молекуле которого имеются 9 σ-связей и 2 π-связи.

2067. Приведите формулу простейшего алкена, имеющего в основной цепи: а) *трет*-бутильный радикал; б) изопропильный радикал.

2068. Приведите формулу любого углеводорода, отвечающего формуле C_nH_{2n-4}, имеющего тройную связь и существующего в форме *цис*- и *транс*-изомера.

2069. Напишите общую формулу углеводорода, имеющего в молекуле три двойные и две тройные связи. Сколько атомов углерода имеет в молекуле первый член этого гомологического ряда (за исключением кумуленов)?

2070. Приведите общую формулу нециклических углеводородов, имеющих в молекуле две двойные и две тройные связи. Напишите в общем виде уравнение реакции горения таких углеводородов.

2071. Приведите общую формулу нециклических углеводородов, имеющих в молекуле три двойные и одну тройную связи. Напишите в общем виде уравнение реакции полного гидрирования таких углеводородов.

2072. Приведите общую формулу нециклических углеводородов, имеющих в молекуле три тройные и одну двойную связи. Напишите в общем виде уравнение реакции с избытком бромоводорода таких углеводородов.

2073. Приведите общую формулу нециклических углеводородов, имеющих в молекуле четыре двойные и одну тройную связи. Напишите в общем виде уравнение реакции с избытком брома таких углеводородов.

2074. Приведите общую формулу нециклических углеводородов, имеющих в молекуле четыре двойные связи. Напишите в общем виде уравнение каталитической реакции с избытком воды таких углеводородов.

2075. Приведите формулу простейшего углеводорода, относящегося к гомологическому ряду, представители которого в реакции с избытком хлороводорода образуют соединения состава $C_nH_{2n}Cl_2$.

2076. Приведите структурные формулы всех алкадиенов, в молекулах которых находится по 38 e^-.

2077. Сколько имеется изомерных алкинов, в молекулах которых число электронов ровно в 3 раза больше числа атомов? Напишите их структурные формулы.

2078. В смеси алкинов число электронов в 3,25 раза больше числа атомов. Какой углеводород обязательно должен находиться в этой смеси?

2079. В молекуле нециклического углеводорода число атомов углерода, в которых атомные орбитали находятся в состоянии sp^2-гибридизации, равно числу атомов углерода, в которых атомные орбитали находятся в состоянии sp^3-гибридизации. Число

электронов в молекуле равно 62. Установите состав этого углеводорода и приведите возможное строение (три структурные формулы).

2080. В молекуле нециклического углеводорода число атомов углерода, в которых атомные орбитали находятся в состоянии *sp*-гибридизации, равно числу атомов углерода, в которых атомные орбитали находятся в состоянии sp^3-гибридизации. Число электронов в молекуле равно 86. Установите состав этого углеводорода и приведите возможное строение (три структурные формулы).

2081. Имеется смесь пропина и этана. Приведите по два примера газов, которые при добавлении к этой смеси: а) увеличат ее плотность по водороду; б) уменьшат ее плотность по воздуху.

2082. Приведите формулу простого газообразного вещества, которое тяжелее третьего члена гомологического члена алкенов и способно вступать с этим алкеном в реакцию. Приведите уравнение этой реакции.

2083. Приведите формулу сложного газообразного при обычных условиях вещества, которое, будучи тяжелее первого члена гомологического ряда алкенов, но легче второго члена гомологического ряда алкинов, может вступать в реакции с обоими углеводородами. Напишите уравнения обеих реакций.

2084. Приведите формулу сложного газообразного вещества, молекула которого состоит из двух атомов, если известно, что этот газ тяжелее четвертого члена гомологического ряда алкенов и способно вступать с этим алкеном в реакцию. Напишите уравнение этой реакции.

2085. Какие из перечисленных ниже соединений можно получить из 2,4-диметилпентана в результате: а) реакции изомеризации; б) реакции дегидрирования: 2,4-диметилгексан, 2,2,3-триметилбутан; 2,4-диметилпентадиен-1,3; 2,4-диметилпентадиен-1,4; 2-метилгексан; 2,3-диметилгексан; 2,3-диметилгексен-1; 2,4-диметилпентен-1; 2,3-диметилпентен-2? Напишите по одному уравнению реакций (на выбор) каждого типа.

2086. Какие из перечисленных ниже соединений можно получить из 4-метилгексена-1 в результате: а) реакции гидрирования; б) реакции дегидрирования: 2-метилгексан, 4-метилгексин-1, 5-метилгексадиен-1,3, 3-метилгексан, 3-метилгексин-1, 3-метилгексадиен-1,5? Напишите по одному уравнению реакций (на выбор) каждого типа.

2087. Состав элементарного звена полимера отвечает формуле C_5H_8. Какие из нижеперечисленных углеводородов при полимеризации могут образовывать такое вещество: 3-метилбутен-1, 2-метилбутен-2, пентадиен-1,3, диметилпропан, *цис*-пентен-2, 2-метилбутадиен-1,3? Приведите мотивированный ответ.

2088. Какие из нижеперечисленных соединений при полимеризации могут образовывать полимер, элементарное звено которого отвечает составу C_4H_5Cl: 1-хлорбутен-1, *цис*-2-хлорбутен-2, 1,4-дихлорбутадиен-1,3, 1-хлорбутадиен-1,3, 3-хлороктадиен-1,7, 2-хлорбутадиен-1,3, хлорэтен, 1,2-дихлорбутадиен-1,3? Приведите схемы реакций полимеризации.

2089. Составьте уравнение реакции окисления 3-метилгексадиена-1,4 перманганатом калия в нейтральном (слабощелочном) растворе.

2090. Напишите уравнения реакций:

а) Пропен + $KMnO_4$ (нейтральный раствор) → X + ...

б) X + H_2SO_4 (разб) → ...

2091. Какие из перечисленных ниже веществ могут попарно вступать в реакции: ацетилен, пропен, гидроксид натрия, хлор? Напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания.

2092. Из углеводорода C_5H_8 с разветвленным углеродным скелетом получите полимер, содержащий два атома хлора в элементарном звене.

2093. Из 1,1,2,2-тетрахлорэтана получите три разных галогенпроизводных этана, в состав которых входят Cl и Br одновременно.

2094. Исходя из неорганических веществ, получите полимер с четырьмя атомами углерода в элементарном звене.

2095. Получите из неорганических веществ 1,1,2-трихлорэтан. Напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания.

2096. Получите из неорганических веществ 1-хлор-1,2-дибромэтан. Напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания.

2097. Из 1-бромпропана, не используя других углеродсодержащих соединений, получите 2,3-диметилбутан. Напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания.

2098. Из этанола, не используя других углеродсодержащих соединений, получите 1,4-дибром-2-хлорбутан. Напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания.

2099. Из 1,1-дихлорэтана получите этиленгликоль, не используя других углеродсодержащих соединений. Напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания.

2100. Не прибегая к другим углеродсодержащим веществам, из 1,2-дибромэтана получите 1,1,2,2-тетрахлорэтан. Напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания.

2101. Из каких галогеналканов и дигалогеналканов можно получить 4-метил-3-этилпентен-2? Напишите уравнения реакций. Ответ поясните.

2102. В ходе реакции получилось два вещества — бромид магния и бутен-2. Какие вещества вступили в эту реакцию? Напишите ее уравнение.

2103. В ходе реакции получились только три вещества — 3,3-диметилпентин-1, вода и хлорид калия. Какие вещества вступили в эту реакцию? Напишите ее уравнение (приведите один из возможных вариантов ответа).

2104. Как химическим способом из смеси с ацетиленом и пропаном можно выделить этилен?

2105. Как химическим способом из смеси с этиленом и пропином можно выделить бутан?

2106. Смесь пропина, бутина и этана пропустили последовательно через избыток раствора гидроксида диамминсеребра (I) и бромную воду. Бромная вода обесцветилась. Установите строение бутина.

2107. В четырех разных сосудах находятся углекислый газ, метан, ацетилен, пропен. Как, основываясь на физических и химических свойствах, распознать, где какой газ находится?

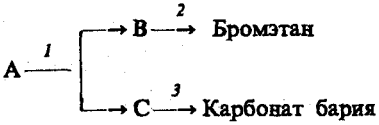
2108. Разделите смесь, состоящую из углекислого газа, метана, пропена, сероводорода и ацетилена.

2109. Составьте уравнения реакций в соответствии со схемой:

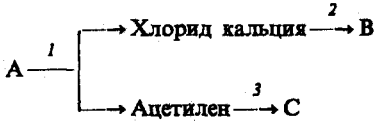
$$\text{Ацетилен} \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C$$

В схеме две реакции полимеризации.

2110. Составьте уравнения трех реакций по схеме:

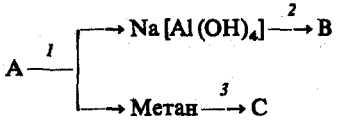


2111. Составьте уравнения трех реакций по схеме:



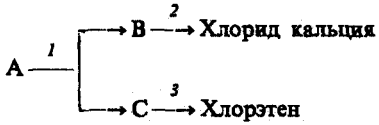
B и C содержат в составе серебро.

2112. Составьте уравнения трех реакций по схеме:

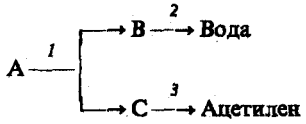


B и C содержат в составе хлор.

2113. Составьте уравнения трех реакций по схеме:



2114. Составьте уравнения трех реакций по схеме:



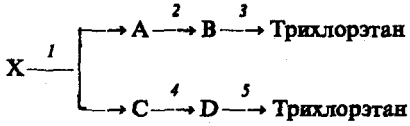
B — гидроксид.

2115. Составьте уравнения реакций по схеме:

$$CH_2{=}CHBr \xrightarrow{+Br_2} A \xrightarrow{+Br_2} B + C$$

Вещества A, B, C содержат углерод.

2116. Составьте уравнения реакций по схеме:



1 — реакция разложения; *2* — *5* — реакции соединения.

2117. Составьте уравнения реакций по схеме:

Один из карбидов → A → B → C → D → *н*-Бутан

Алкены

2118. Оксид углерода (II) смешан с одним из алкенов. В этой газовой смеси объемная доля оксида углерода равна 60%, а массовая доля 50%. Какой алкен находился в смеси?

2119. К порции пентана добавили равное количество вещества алкена, в результате чего общее число атомов увеличилось в 2,235 раза. Установите состав алкена, вычислите его массовую долю и напишите структурные формулы всех его нециклических изомеров, имеющих в молекуле два третичных атома углерода.

2120. В смеси двух ближайших гомологов монобромалкенов массовая доля брома равна 53%. Установите состав соединений и рассчитайте их массовые доли. Для того гомолога, массовая доля которого больше, приведите формулы всех структурных

нециклических изомеров, содержащих 3 вторичных атома углерода.

2121. Для полного обесцвечивания 600 мл нейтрального раствора с концентрацией перманганата калия 0,500 моль/л потребовалось пропустить 27,2 г смеси этана, этилена, пропана и пропена. Не поглощенную раствором смесь газов сожгли, а продукты сгорания пропустили последовательно через трубку с безводным сульфатом меди и склянку с избытком раствора гидроксида бария. Масса трубки увеличилась на 18,0 г, а масса осадка оказалась равной 137,9 г. Вычислите объем исходной смеси газов.

2122. Смесь алкана и алкена с равным числом атомов водорода в молекулах общим объемом 3,92 л (н. у.) пропустили последовательно через склянки со слабощелочным раствором перманганата калия и с бромной водой. Масса первой склянки увеличилась на 0,7 г, а второй — на 1,4 г. Относительная плотность по водороду смеси газов на выходе из второй склянки составила 18. Вычислите массовые доли углеводородов в исходной смеси.

2123. При окислении бутена-2 перманганатом калия в сернокислом растворе образовалось 8 моль уксусной кислоты. Вычислите количество вещества соли марганца, образовавшейся в ходе реакции.

2124. Избыток пропена пропустили через нейтральный раствор перманганата калия. После испарения всей жидкости масса сухого остатка составила 10,0 г. Вычислите объем пропена (н. у.), вступившего в реакцию.

2125. При пропускании смеси четырех изомеров алкена через избыток раствора перманганата калия масса выпавшего осадка оказалась больше массы исходного алкена. Установите строение продуктов реакции.

2126. При пропускании смеси *цис-* и *транс*-изомера алкена через избыток раствора перманганата калия масса выпавшего осадка оказалась больше массы исходного алкена. Установите строение алкена.

2127. При пропускании алкена с разветвленным углеродным скелетом через избыток раствора перманганата калия масса выпавшего осадка оказалась больше массы исходного алкена. Установите строение алкена.

2128. При пропускании алкена через избыток раствора перманганата калия масса выпавшего осадка оказалась меньше массы исходного алкена. Чему равно минимально возможное число атомов углерода в таком алкене?

2129. При пропускании через избыток раствора перманганата калия смеси двух соседних гомологов ряда этилена, каждый из которых может существовать в форме *цис-* и *транс*-изомера,

масса выпавшего осадка оказалась равна массе исходной смеси алкенов. Установите строение обоих алкенов.

2130. При гидратации 8,96 л (н. у.) алкена получили 2,40 г первичного спирта и 21,6 г вторичного спирта. Установите строение исходного вещества.

2131. Относительная плотность паров хлоралкана по алкену, из которого он получен, равна 1,87. Установите строение алкена.

2132. Два неразветвленных алкена подвергли хлорированию. Молярная масса одного из продуктов реакции составляет 63,87% от молярной массы другого продукта. При гидратации тех же алкенов образуются только два соединения, причем молярные массы их различаются в 2,217 раза. Установите состав исходных соединений.

2133. Из образца 1,2-дибромэтана массой 150 мг при обработке избытком магния получен этилен объемом 16,8 мл (н. у.). Вычислите массовую долю примесей в исходном образце.

2134. Из технического образца 2-бромбутана массой 30 г был получен алкен, который затем пропустили через слабощелочной раствор перманганата калия. Масса образовавшегося двухатомного спирта составила 9,54 г. Вычислите массовую долю примесей в исходном образце бромалкана, если известно, что выход реакции отщепления равен 90%, а выход реакции окисления — 60%.

2135. Из 35 г иодэтана в результате двух последовательных реакций было получено 4,48 г полиэтилена. Вычислите выход (%) каждой из реакций, если известно, что они равны между собой.

2136. Смесь бутена-1 и пропана объемом 896 мл (н. у.) с плотностью по гелию 13,35 полностью поглощена 48,0 г 5,00%-го раствора брома в тетрахлорметане. Вычислите массовые доли веществ в полученном растворе.

2137. Смесь 1,00 л пропена, 1,00 л пропана и 3,00 л водорода пропустили над никелевым катализатором. Реакция гидрирования прошла на 80,0%. Вычислите плотность по воздуху полученной газовой смеси.

2138. Смесь бутена-1 и водорода с относительной молекулярной массой 38,0 пропустили над платиновым катализатором, после чего относительная молекулярная масса газовой смеси увеличилась на 33,3%. Вычислите выход продукта реакции гидрирования.

2139. Смесь пропена с водородом, имеющая при н. у. плотность 0,534 г/л, пропустили над никелевым катализатором. Выход целевого продукта составил 75,0%. Во сколько раз уменьшился объем газовой смеси после реакции?

2140. Через избыток водного раствора перманганата калия пропустили смесь пропена, пропана и азота с относительной

плотностью по водороду 20,14. Относительная плотность по воздуху газовой смеси на выходе из склянки оказалась равной 1,241. Вычислите массовые доли газов в исходной смеси.

2141. Алкен смешали с водородом и нагрели в присутствии катализатора. В исходной смеси объемная доля алкена составила 25,0%; в смеси газов после установления равновесия она снизилась ровно в 2 раза. Вычислите выход продукта реакции.

Алкины

2142. Какой объем ацетилена (105 кПа, 20 °С) можно получить из 150 г карбида кальция, содержащего 10% негидролизующихся примесей?

2143. Смесь пропина и 1,3-дихлорпропана общей массой 26,6 г обработали избытком хлороводорода в присутствии солей ртути. Масса изомерных дихлоралканов по окончании реакции оказалась равной 39,9 г. Вычислите массовую долю углеводорода в исходной смеси.

2144. Ацетилен объемом 56,0 мл (н. у.) полностью поглощен 10,0 г 3,04%-го раствора бромоводородной кислоты. Вычислите количества образовавшихся веществ.

2145. Смесь бутина-2 и пентен-1-ина-4 общей массой 29,1 г могут вступить в реакцию с 0,4 моль гидроксида диамминсеребра (I). Вычислите массовые доли веществ в исходной смеси углеводородов.

2146. Масса твердого вещества, образующегося при пропускании смеси ацетилена и бутина-1 через избыток аммиачного раствора оксида серебра, в 7,40 раза больше массы смеси углеводородов. Вычислите объемные доли веществ в исходной смеси углеводородов.

2147. Какая масса гидроксида калия, находившегося в спиртовом растворе, вступила в реакцию с 1,2-дибром-3,3-диметилпентаном, если при этом образовалось 24 г алкина?

2148. Из технического образца 1-бром-2-хлорэтана массой 120 г с выходом 85% получено 13,5 л (н. у.) алкина. Вычислите массовую долю примесей в исходном образце.

2149. Из дихлоралкана, массовая доля хлора в котором равна 62,8%, с 80%-м выходом был получен ацетиленовый углеводород объемом 500 мл (н. у.). Вычислите, какая масса дихлоралкана вступила в реакцию.

2150. Из ацетилена объемом 24,3 л (20 °С, 100 кПа) получили 34,1 мл (пл. 0,6867 г/мл) винилацетилена. Вычислите выход (%) продукта реакции.

2151. Какую максимальную массу винилацетилена можно получить из 100 $м^3$ ацетилена (105 кПа, 20 °С)?

2152. При обработке 7,04 мл бромэтена (пл. 1,52 г/мл) избытком спиртового раствора гидроксида калия был получен ацетилен, из которого синтезировали бензол, которого было получено 1,20 мл (пл. 0,879 г/мл). Вычислите выходы (%) обеих реакций, если известно, что выход во второй реакции в 2 раза меньше выхода в первой реакции.

2153. При пропускании через избыток бромной воды смеси метана, пропена и ацетилена ее объем уменьшился ровно в 4 раза. При пропускании той же смеси углеводородов того же объема через избыток аммиачного раствора оксида серебра объем смеси уменьшился в 1,75 раза. Вычислите массовую долю алкена в исходной смеси.

2154. При пропускании смеси бутана и пропина через склянку с бромной водой масса ее увеличилась на 0,800 г. Такую же смесь углеводородов такой же массы сожгли, а продукты сгорания пропустили через трубку с оксидом фосфора (V), ее масса увеличилась на 7,92 г. Вычислите объемную долю алкана в исходной смеси.

2155. При пропускании 22,4 л смеси (н. у.) углекислого газа, бутена-1 и пропина через избыток известковой воды образуется 20 г осадка. Такая же порция этой смеси может вступить при определенных условиях в реакцию гидратации, при этом образуется 54,4 г смеси кислородсодержащих соединений. Вычислите массу исходной смеси газов.

2156. Смесь этана, этена и этина общим объемом 3,92 л (н. у.) пропустили последовательно через склянки с аммиачным раствором оксида серебра и с бромной водой (оба реактива были в большом избытке). Масса первой склянки увеличилась на 1,95 г, а второй — на 0,7 г. Вычислите объемные доли газов в исходной смеси.

2157. При обработке избытком бромной воды 0,25 моль алкина с разветвленным углеродным скелетом получено 97,0 г бромпроизводного. Установите строение алкина.

2158. При полном гидрохлорировании алкина массой 2,16 г образуется вещество, масса которого равна 5,08 г. Установите строение исходного и конечного продуктов, если известно, что исходный углеводород не реагирует с аммиачным раствором оксида серебра.

2159. Какой объем озонокислородной смеси с плотностью по водороду 19,0 необходим для сжигания 19,0 л смеси бутана и ацетилена с такой же плотностью? (Объемы всех газов приведены к одинаковым условиям).

2160. Какой объем воздуха необходим для сжигания 22,4 л смеси пропена и ацетилена с плотностью, равной при этих усло-

виях плотности одного из алканов? Объемы газов измерялись при 25 °С и 98 кПа.

2161. Смесь ацетилена и углекислого газа при пропускании через избыток известковой воды образует 20,0 г осадка. При обработке такой же порции этой смеси избытком хлора образуется 21,9 г хлороводорода. Вычислите объем (н. у.) исходной смеси газов.

2162. Какой максимальный объем хлороводорода может присоединить смесь пропина и бутена общим объемом 10,0 л, имеющая плотность, равную плотности одного из алканов (объемы измеряются при одинаковых условиях).

2163. Для сжигания 3,00 л смеси двух ближайших гомологов ряда ацетилена понадобилось 9,00 л кислорода (объемы измерялись при одинаковых условиях). Установите строение углеводородов, входивших в смесь.

2164. Смесь этилена и метилацетилена, в которой атомов углерода в 1,5 раза меньше, чем водорода, смешали с 5 объемами водорода и нагрели над никелевым катализатором до прекращения реакции. Вычислите плотность по гелию исходной и конечной газовой смесей.

2165. К смеси ацетилена и этана общим объемом 5,00 л добавили равный объем водорода, после чего газы пропустили над никелевым катализатором. Объем смеси на выходе оказался в 1,25 раза меньше исходного. Считая, что выход реакции равен 100%, а объемы газов измерялись при одинаковых условиях, рассчитайте объемную долю водорода в конечной смеси.

Алкадиены

2166. Смесь пентадиина-1,4 и пентадиена-1,4 может вступить в реакцию с 6,36 г гидроксида диамминсеребра (I), находящегося в растворе. Такая же порция этой смеси может вступить в реакцию с 20,8 г брома. Вычислите массовую долю брома в полученной смеси бромпроизводных.

2167. Для гидрирования 3,45 г смеси бутадиена и пропена необходим водород объемом 2,41 л (11 °С; 98 кПа). Вычислите объемные доли газов в исходной смеси.

2168. При пропускании пентадиена-1,3 через 89,6 г 2,50%-го раствора брома в тетрахлорметане была получена смесь бромпроизводных в молярном соотношении 2:3 (более тяжелого производного содержалось меньше). Какой объем (н. у.) озонированного кислорода с объемной долей озона 5,00% необходим для полного окисления такой же массы пентадиена?

2169. При присоединении к 30 г бутадиена галогеноводорода была получена с 90%-м выходом смесь галогеналкенов, в которой массовая доля углерода составляет 35,56%. Вычислите массу смеси образовавшихся галогеналкенов.

Гомологические ряды ненасыщенных углеводородов

2170. 1,2-Дибромпропан массой 4,04 г обработали 20,0 г 20,0%-го раствора гидроксида калия в этаноле. Вычислите массу остатка, который был получен после окончания реакции и выпаривания раствора.

2171. При обработке смеси 1,2-дихлорбутана и 2-хлорбутана избытком спиртового раствора KOH при нагревании выделилось 896 мл (н. у.) смеси газов. Ту же смесь такой же массы обработали при нагревании избытком цинка. После окончания реакции получившуюся смесь обработали водой, водный слой отделили и воду выпарили. Масса сухого остатка оказалась равной 1,36 г. Вычислите количества веществ в исходной смеси.

2172. Смесь карбида алюминия и карбида кальция общей массой 2,72 г обработали избытком соляной кислоты. Выделившуюся смесь углеводородов сожгли, а продукты сгорания пропустили через избыток раствора гидроксида бария, при этом образовалось 13,8 г осадка. Вычислите объемные доли газов в смеси углеводородов, образовавшейся при гидролизе смеси карбидов.

2173. К смеси карбида алюминия и карбида кальция добавили 50 г 5,00%-го раствора хлорида натрия. В результате реакции выделилась смесь газов с относительной плотностью по водороду 10,5. Масса воды в надосадочной жидкости оказалась равной 15,1 г. Вычислите массы карбидов металлов в исходной смеси.

2174. Дихлоралкан, в котором атомы хлора находятся у соседних атомов углерода, обработали избытком спиртового раствора щелочи. Масса выделившегося газа оказалась в 2,825 раза меньше массы исходного дихлоралкана. Установите строение исходного соединения и продукта реакции.

2175. Ацетилен подвергли каталитической димеризации, при этом число первичных атомов углерода уменьшилось на 30%. Образовавшуюся смесь растворили в ацетоне, которого взяли по массе в 10 раз больше. Вычислите массовые доли углеводородов в получившемся растворе.

2176. Смесь 1,3-дибромпропана и дигалогеналкана обработали избытком цинка, при этом образовалась смесь газов с плотностью по водороду 23,333. Сухой остаток обработали избытком хлорной воды, после чего воду выпарили, сухой остаток высуши-

ли до постоянной массы, которая уменьшилась по сравнению с первоначальной в 1,4363 раза и составила 40,8 г. При нагревании исходного дигалогеналкана со спиртовым раствором щелочи образовался газ, при пропускании которого через аммиачный раствор оксида серебра выпал осадок. Предложите структуру дигалогеналкана.

2177. Смесь 1,2-дибромэтана и дигалогеналкана обработали избытком магния, при этом образовалась смесь газов с плотностью 2,00 г/л (н. у.). Сухой остаток растворили в воде и обработали избытком водного раствора KOH. Выпавший осадок промыли водой, высушили и прокалили до постоянной массы, которая уменьшилась по сравнению с исходным сухим остатком в 3,265 раза и составила 20 г. После нагревания исходного дигалогеналкана со спиртовым раствором щелочи образовался газ, при пропускании которого через аммиачный раствор оксида серебра выпал осадок. Предложите структуру дигалогеналкана.

3.3. ЦИКЛИЧЕСКИЕ УГЛЕВОДОРОДЫ

Циклические углеводороды могут быть насыщенными (циклоалканы), ненасыщенными (циклоалкены и циклоалкадиены), ароматическими (арены). Существуют и такие углеводороды, в составе которых имеется несколько циклов.

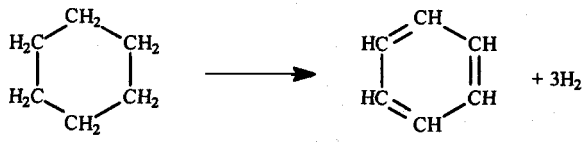
Циклоалканы образуют несколько гомологических рядов, различающихся размером цикла. Родоначальниками гомологических рядов являются циклопропан (гомологи: метилциклопропан, этилциклопропан и т. д.); циклобутан (ближайший гомолог — метилциклобутан); циклопентан; циклогексан. Все гомологические ряды циклоалканов (с одним циклом) имеют общую формулу C_nH_{2n}.

Циклоалканы вступают в реакции гидрирования с образованием алканов:

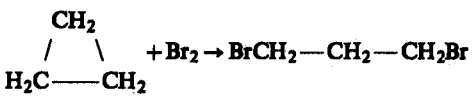
$$C_nH_{2n} + H_2 \rightarrow C_nH_{2n+2}$$

Реакции протекают при повышенном давлении в присутствии никелевого или платинового катализатора.

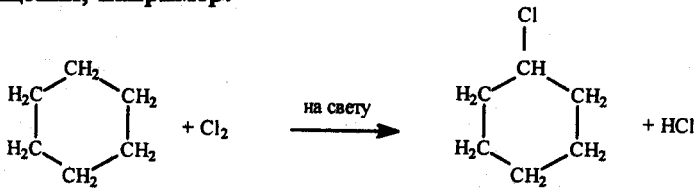
Циклогексан каталитически дегидрируется при нагревании с образованием бензола:



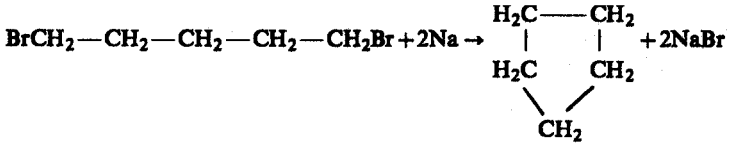
Циклоалканы по-разному ведут себя в реакциях галогенирования. Циклопропан и циклобутан преимущественно присоединяют галоген с раскрытием цикла, например:



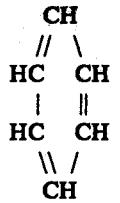
Циклопентан и циклогексан с галогенами вступают в реакции замещения, например:



Лабораторный способ получения циклоалканов заключается в обработке натрием и другими металлами (Zn, Mg) дигалогеналкана, имеющего заместители на удалении, соответствующем размеру цикла, например:



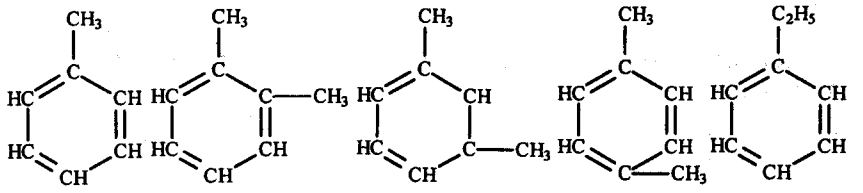
Особыми свойствами обладают циклические соединения с чередующимися двойными и одинарными связями, в которых электронная плотность двойных связей выравнена между атомами цикла. Такие соединения называются *ароматическими*. Простейшим ароматическим соединением является ***бензол:***



Все атомы углерода в молекуле бензола находятся в состоянии sp^2-гибридизации. Три гибридных sp^2-орбитали принимают участие в образовании σ-связей: одна из них с атомом водорода, две других — с двумя соседними атомами углерода. Негибридная p-орбиталь образует π-связь с одним из соседних атомов

углерода, однако за счет сопряжения происходит полное выравнивание длин связей: каждая из шести связей С—С в молекуле бензола имеет длину 0,139 нм.

Бензол является родоначальником гомологического ряда. Его гомологами являются толуол, ксилолы, этилбензол:



толуол *орто*-ксилол *мета*-ксилол *пара*-ксилол этилбензол

Бензол — жидкость с характерным запахом, температура плавления 5,5 °С, температура кипения 80 °С, плотность 0,879 г/мл.

Ближайшие гомологи также являются жидкостями, не растворяющимися в воде, с плотностью меньше 1 г/мл.

Для бензола характерны реакции замещения (электрофильное замещение, механизм S_E):

а) галогенирование (катализаторы $FeHal_3$, $AlHal_3$, $ZnHal_2$, Hal = Cl, Br)

$$C_6H_6 + Hal_2 \rightarrow C_6H_5Hal + HHal$$

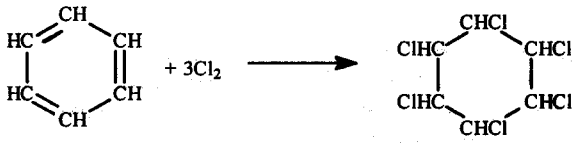
б) нитрование (нагревание в присутствии концентрированной серной кислоты):

$$C_6H_6 + HNO_3 \rightarrow C_6H_5NO_2 + H_2O$$

в) алкилирование галогеналканами (катализатор $AlCl_3$):

$$C_6H_6 + CH_3Cl \rightarrow C_6H_5CH_3 + HCl$$

Бензол может гидрироваться с образованием циклогексана. В жестких условиях (УФ-облучение) бензол может вступать в реакции присоединения, например:

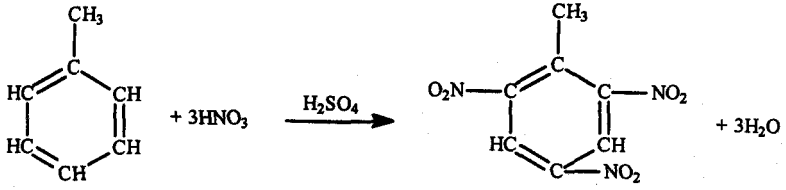


гексахлорциклогексан

У гомологов бензола наблюдаются некоторые свойства, характерные для алканов. Так, например, ***толуол*** может вступать в реакции замещения по механизму S_R с галогенами (на свету):

$$C_6H_5—CH_3+Cl_2 \rightarrow C_6H_5—CH_2Cl+HCl$$

Гомологи бензола легче, чем сам бензол, вступают в реакции замещения по ароматическому кольцу. Толуол нитруется в более мягких условиях, чем бензол, и образует тринитропроизводное:



Наличие заместителя в ароматическом цикле ориентирует вступление другого заместителя в цикл. Алкильный радикал, галоген, гидроксильная группа, аминогруппа ориентируют заместители в *орто-* и *пара*-положение; нитрогруппа, карбонильная группа и карбоксильная группа — в *мета*-положение.

Ароматический цикл достаточно устойчив к действию окислителей. Бензол не реагирует с водными растворами $KMnO_4$, $K_2Cr_2O_7$ и других окислителей. В гомологах бензола окислению подвергается заместитель. Так, толуол и другие гомологи окисляются перманганатом калия в водном растворе при нагревании. В нейтральном растворе образуются калиевые соли ароматических кислот:

$$C_6H_5—CH_3+2KMnO_4 \rightarrow C_6H_5COOK+2MnO_2+KOH+H_2O$$

$$C_6H_5—C_2H_5+4KMnO_4 \rightarrow C_6H_5COOK+K_2CO_3+4MnO_2+KOH+2H_2O$$

$$CH_3—C_6H_4—CH_3+4KMnO_4 \rightarrow$$

$$\rightarrow KOOC—C_6H_4—COOK+4MnO_2+2KOH+2H_2O$$

В подкисленном растворе образуются сами кислоты, например:

$$5C_6H_5—CH_3+6KMnO_4+9H_2SO_4 \rightarrow$$

$$\rightarrow 5C_6H_5—COOH+6MnSO_4+3K_2SO_4+14H_2O$$

Способы получения ароматических углеводородов: дегидрирование циклоалканов, дегидрирование — циклизация алканов (гептана, гексана), циклотримеризация ацетиленовых углеводородов, алкилирование бензола.

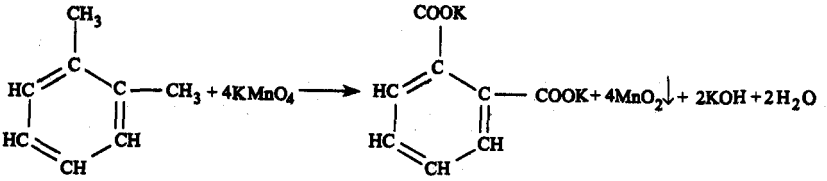
Одно из важнейших производных бензола — стирол, или винилбензол — вещество, имеющее в структуре и двойную связь, и ароматический цикл. Стирол вступает во многие реакции, характерные для алкенов. Он вступает также в реакции сополимеризации (образование полимера из двух разных мономеров). Ниже приведен пример сополимеризации бутадиена и стирола:

$$n\ CH_2{=}CH{-}CH{=}CH_2 + n\ C_6H_5{-}CH{=}CH_2 \rightarrow$$

$$\rightarrow \left[-CH_2-CH=CH-CH_2-\underset{\displaystyle C_6H_5}{\underset{|}{CH}}-CH_2- \right]_n$$

Пример 62. При окислении 13,25 г *о*-ксилола горячим нейтральным раствором перманганата калия выделилось 34,8 г осадка. Вычислите, какая часть исходного количества *о*-ксилола подверглась окислению.

Решение. Реакция протекает по уравнению:



Вычислим количества веществ взятого *о*-ксилола и образовавшегося оксида марганца (IV) по формуле

$$\nu(X) = m(X) : M(X);$$

$$\nu(\text{ксилол})_{\text{исх}} = 13{,}25 : 106 = 0{,}125 \text{ моль};$$

$$\nu(MnO_2) = 34{,}8 : 87 = 0{,}4 \text{ моль}.$$

По уравнению реакции

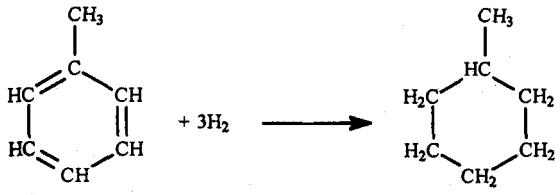
$$\nu(\text{ксилол})_{\text{вст}} = {}^1/_4 \nu(MnO_2) = 0{,}25 \cdot 0{,}4 = 0{,}1 \text{ моль}.$$

Следовательно, *о*-ксилола окислилось:

$$\nu(\text{ксилол})_{\text{вст}} : \nu(\text{ксилол})_{\text{исх}} = 0{,}1 : 0{,}125 = 0{,}8, \text{ или } 80\%.$$

Пример 63. Смесь паров толуола и водорода, в которой объемная доля водорода равна 83,3%, поместили в контактный аппарат для синтеза метилциклогексана. После установления равновесия выяснилось, что при абсолютной температуре (в Кельвинах), в 1,20 раза больше исходной, давление в аппарате в 1,30 раза меньше исходного. Вычислите выход (%) реакции гидрирования.

Решение. Толуол гидрируется до метилциклогексана:



Величины, относящиеся к исходному состоянию системы, обозначим индексом «1», а к конечному — индексом «2».

Вычислим, во сколько раз в исходной смеси было больше водорода, чем толуола: $\nu_1(H_2)/\nu_1(\text{толуол}) = 83{,}3 : (100-83{,}3) = 5$. Пусть $\nu_1(\text{толуол}) = a$; тогда $\nu_1(H_2) = 5a$. Примем, что выход реакции равен x. Толуол находится в смеси в недостатке, его вступит в реакцию с учетом выхода $\nu(\text{толуол})_{\text{вст}} = ax$; количества веществ вступающего в реакцию водорода и образующего метилциклогексана определяются стехиометрическими соотношениями:

$$\nu(H_2)_{\text{вст}} = 3\nu(\text{толуол})_{\text{вст}} = 3ax;$$

$$\nu(\text{метилциклогексан}) = \nu(\text{толуол})_{\text{вст}} = ax.$$

Остатки не вступивших в реакцию веществ составят:

$$\nu_2(\text{толуол}) = a(1-x); \quad \nu_2(H_2) = 5a - 3ax.$$

По условию задачи: $T_2 = 1{,}2T_1$; $p_2 = p_1 : 1{,}3$. При $V = \text{const}$ справедливо:

$$\frac{\nu_1(\text{смеси})}{\nu_2(\text{смеси})} = \frac{T_2 p_1}{T_1 p_2}; \quad \frac{\nu_1(\text{смеси})}{\nu_2(\text{смеси})} = \frac{1{,}2T_1 \cdot 1{,}3p_1}{T_1 p_1}; \quad \frac{\nu_1(\text{смеси})}{\nu_2(\text{смеси})} = 1{,}56.$$

Выразим суммарные количества веществ:

$$\nu_1(\text{смеси}) = \nu_1(\text{толуол}) + \nu_1(H_2) = a + 5a = 6a;$$

$$\nu_2(\text{смеси}) = \nu_2(\text{толуол}) + \nu_2(H_2) + \nu(\text{метилциклогексан}) = a(1-x) + a(5-3x) + ax =$$

$$= 6a - 3ax.$$

Составим уравнение:

$$6a : (6a - 3ax) = 1{,}56; \text{ откуда } x = 0{,}718, \text{ или } 71{,}8\%.$$

ВОПРОСЫ, УПРАЖНЕНИЯ И ЗАДАЧИ

2178. Приведите общую формулу ароматических соединений — гомологов бензола; ароматических соединений — гомологов стирола; циклоалканов, циклоалкенов и циклоалкадиенов.

2179. Какой тип гибридизации атомных орбиталей углерода характерен для молекул: бензола, циклогексана, стирола?

2180. Объясните, почему толуол легче вступает в реакции замещения, чем бензол.

2181. Составьте уравнения реакций хлорирования *п*-ксилола, в результате которых образуются монохлорзамещенные (в присутствии катализатора, на свету).

2182. Составьте уравнение реакции нитрования ароматического углеводорода состава C_8H_{10}, в результате которой образуется только одно мононитропроизводное.

2183. Напишите уравнение реакции полимеризации стирола.

2184. Приведите для циклопентана примеры реакций: присоединения, замещения, окисления.

2185. Напишите уравнения реакций окисления 1,2-диэтилбензола перманганатом калия в нейтральной и кислой среде.

2186. Напишите уравнения реакций окисления 1,2,4,5-тетраметилбензола перманганатом калия в нейтральной и кислой среде.

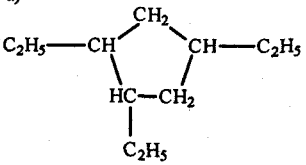
2187. Составьте уравнения реакций окисления дихроматом калия в кислой среде ароматических углеводородов: 1,3-диэтилбензола, 1,2,3-триметилбензола, 1-метил-3-этилбензола.

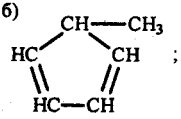
2189. Составьте уравнение реакции, протекающей между 3-метилциклогексеном-1 и нейтральным водным раствором перманганата калия.

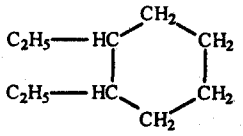
2190. Составьте уравнение реакции, протекающей между 1,2-дивинилциклогексаном и нейтральным водным раствором перманганата калия.

2191. Приведите уравнения реакций натрия с 2-иодпентаном и 1,5-дииодпентаном.

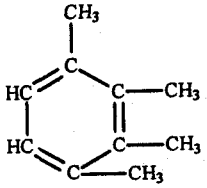
2192. Назовите следующие соединения:

а) 

б) 

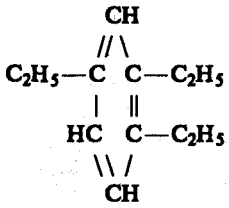
в) 

2193. Назовите соединение:



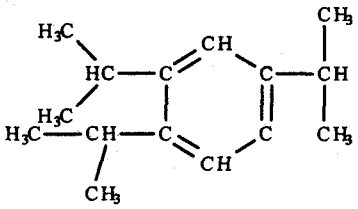
Приведите два изомера этого соединения, относящихся к ароматическим соединениям, каждый из которых имеет разветвленный углеводородный радикал.

2194. Назовите соединение



Приведите изомер этого соединения, относящийся к ароматическим соединениям и имеющий в молекуле три радикала, один из которых разветвленный.

2195. Назовите соединение



Может ли изомер этого соединения, имеющий шесть заместителей в бензольном кольце, иметь хотя бы один разветвленный радикал? Если может, приведите формулу этого вещества; если нет — приведите необходимые пояснения.

2196. Составьте структурные формулы всех изомеров диметилциклопропана.

2197. Напишите формулы всех изомерных: а) трихлорбензолов; б) винилизопропилбензолов; в) метилциклогексенов; г) тетравинилбензолов.

2198. Приведите структурные формулы двух циклических изомерных углеводородов, один из которых содержит 5 вторичных атомов углерода, а другой — только один.

2199. Среди перечисленных соединений найдите гомологи и изомеры: 1,2-дихлорциклогексан, 1-хлор-2-метилциклопентан, 1,3-дихлор-2-метилциклогексан, 2,3-дихлорпропен-1, 3-хлоргексадиен-1,5, 1,5-дихлоргексен-2. Какое из перечисленных соединений имеет пространственные изомеры?

2200. Приведите формулу углеводорода, в молекуле которого имеются 15 σ-связей и нет π-связей.

2201. Приведите структурную формулу циклического углеводорода, в молекуле которого половина атомов углерода имеет орбитали в состоянии sp^2-гибридизации, а другая половина — в состоянии sp^3-гибридизации.

2202. Приведите пример циклического углеводорода, в молекуле которого у всех атомов углерода орбитали находятся в состоянии sp^2-гибридизации.

2203. Приведите примеры двух углеводородов с общей формулой C_nH_{2n}, в молекуле которых все атомы углерода находятся в состоянии sp^3-гибридизации.

2204. В молекуле циклоалкена число атомов углерода и водорода различается на 4. Приведите структурные формулы этого соединения и его изомера, не относящегося к циклическим углеводородам.

2205. В молекуле ароматического углеводорода с одной двойной связью в боковой цепи число атомов углерода равно числу атомов водорода. Приведите структурные формулы этого соединения и его гомолога, имеющего вдвое большее число атомов водорода в молекуле.

2206. В молекуле циклического углеводорода, имеющего две двойные связи (только в боковой цепи), число атомов углерода и водорода различается на 6. Приведите структурные формулы этого соединения и его изомера, имеющего в боковой цепи только одну двойную связь.

2207. Приведите формулы трех ароматических соединений состава $C_{10}H_{10}$, не имеющих *цис-транс*-изомеров.

2208. Приведите формулы двух изомеров бензола: один из них имеет алкильный радикал, а другой — винильный радикал.

2209. В каком гомологическом ряду циклических углеводородов число электронов в молекулах больше числа атомов в 2,67 раза?

2210. Приведите структурные формулы всех циклоалканов, в молекулах которых находится по 40 e^-.

2211. Приведите структурную формулу ароматического углеводорода, имеющего в молекуле 50e^-. Приведите формулу гомолога этого соединения, имеющего меньшее число электронов в молекуле.

2212. Приведите структурную формулу любого циклоалкена, имеющего в молекуле 46e^-. Приведите формулу другого углеводорода, в молекуле которого будет на 2e^- больше.

2213. Какой изомер бензола имеет пространственные изомеры? Приведите формулы этих изомеров.

2214. Напишите формулу простейшего гомолога стирола с радикалом разветвленного строения и существующего в форме *цис-* и *транс*-изомера. Приведите для этого вещества изомер циклического строения, но не относящийся к ароматическим соединениям.

2215. Напишите такой циклический изомер винилдиметилциклогексана, который может существовать в виде *цис-* и *транс*-изомера.

2216. Напишите уравнения реакций:

а) Толуол + $KMnO_4$ (кислый раствор) $\xrightarrow{t}$ X + ...

б) X + $Ba(OH)_2$ → ...

2217. Напишите уравнения реакций:

а) Толуол + $KMnO_4$ (нейтральный раствор) $\xrightarrow{t}$ X + ...

б) X + HCl (разб) → ...

2218. Напишите уравнения реакций:

а) *о*-Ксилол + $KMnO_4$ (нейтральный раствор) $\xrightarrow{t}$ X + ...

б) X + HBr (разб) → ...

2219. Напишите уравнения реакций:

а) *м*-Ксилол + $KMnO_4$ (кислый раствор) $\xrightarrow{t}$ X + ...

б) X + $KHCO_3$ → ...

2220. Некоторое органическое вещество вступает в реакции с хлором и водородом, но не реагирует с хлороводородом. Что это может быть за вещество? Напишите уравнения реакций.

2221. Некоторое органическое вещество обесцвечивает раствор перманганата калия (при нагревании), вступает в реакцию с хлором, но не реагирует с хлороводородом. Что это может быть за вещество? Напишите уравнения реакций.

2222. Какой углеводород и в каких условиях был окислен, если в результате реакции были получены, кроме других соединений, калиевая соль бензойной кислоты и карбонат калия в молярном соотношении 1 : 1? Напишите уравнение реакции.

2223. Установите строение арена, при окислении которого подкисленным раствором перманганата калия были получены терефталевая кислота и оксид углерода (IV) в молярном соотношении 1 : 2.

2224. В ходе реакции получились только два вещества — метилциклопентан и бромид натрия. Какие вещества вступили в эту реакцию? Напишите ее уравнение.

2225. При хлорировании двух разных дихлорциклогексанов было выделено в одном случае только два изомерных трихлорциклогексана, а в другом — четыре. Приведите структурные формулы этих дихлорциклогексанов.

2226. Составьте уравнения реакций по схеме

$$C_nH_{2n+1}Cl \rightarrow C_{2n}H_{4n+2} \rightarrow C_{2n}H_{4n-6} \rightarrow C_{2n}H_{4n-7}Cl$$

2227. Составьте уравнения реакций по схеме

$$C_nH_{2n+2} \rightarrow C_{2n}H_{4n-2} \rightarrow C_{6n}H_{12n-6} \rightarrow C_{6n}H_{12n-7}NO_2$$

2228. Составьте уравнения реакций по схеме

$$C_nH_{2n+1}I \rightarrow C_{2n}H_{4n+2} \rightarrow C_{2n}H_{4n} \rightarrow C_{2n}H_{4n+2}O_2$$

2229. Составьте уравнения реакций по схеме

$$C_nH_{2n+1}Br \rightarrow C_{2n}H_{4n+2} \rightarrow C_{2n}H_{4n-6} \rightarrow C_{2n+1}H_{4n-4}$$

2230. Составьте уравнения реакций по схеме

$$C_nH_{2n+2} \rightarrow C_{2n}H_{4n-2} \rightarrow C_{4n}H_{8n-4} \rightarrow C_{4n}H_{8n-3}Cl$$

2231. Составьте уравнения реакций по схеме

$$C_nH_{2n}Cl_2 \rightarrow C_nH_{2n-1}Cl \rightarrow C_nH_{2n-2} \rightarrow C_{2n}H_{4n-4}$$

2232. Составьте уравнения реакций по схеме

$$C_nH_{2n-2} \rightarrow C_nH_{2n-6} \rightarrow C_{n+2}H_{2n-2} \rightarrow C_{n+2}H_{2n-4}$$

2233. Составьте уравнения реакций по схемам:

а) А + В → 1,2-Дибром-4-метилциклогексан;
б) 1,2-Дибром-4-метилциклогексан + В → С (смесь изомеров) + D.

2234. Составьте уравнения реакций по схемам:

а) А + В → С;
б) С + В → 1,2,4,5-Тетраиодциклогексан;
в) А + D → Е;
г) Е + В → 1,2,4-Трииодциклогексан.

2235. Составьте уравнения реакций по схемам:

а) Стирол + А → В;
б) В + С → А + D (смесь изомеров).

2236. Имеются 7-хлоргептен-1, хлороводород и натрий. Получите с помощью этих веществ толуол.

2237. Используя, кроме воды, только по одному соединению алюминия и кальция (по выбору), получите нитробензол. Выбор катализаторов не ограничен.

2238. Из какого дигалогеналкана в три стадии можно получить гексахлорциклогексан? Напишите уравнения реакций, укажите условия их протекания.

2239. Среди изомерных иодциклогексадиенов выберите такой, из которого в две стадии, не используя других углеродсодержащих соединений, можно получить гексахлорциклогексан.

2240. Среди изомерных бромметилциклогексадиенов выберите такой, из которого в две стадии, не используя других углеродсодержащих соединений, можно получить тринитротолуол.

2241. Среди изомерных дибромгептанов выберите такой, из которого в три стадии, не прибегая к другим углеродсодержащим соединениям, можно получить бензойную кислоту.

2242. Завершите цепочку превращений:

$$\text{Циклопентен} \xrightarrow{\text{присоединение}} A \xrightarrow{\text{замещение}} B$$

2243. Завершите цепочку превращений:

$$\text{Бензол} \xrightarrow{\text{замещение}} A \xrightarrow{\text{дегидрирование}} B \xrightarrow{\text{полимеризация}} C$$

2244. Завершите цепочку превращений:

$$\text{Циклогексадиен} \xrightarrow[\text{[Ni, } p, t\text{]}]{H_2} A \xrightarrow[\text{[раствор в } CCl_4\text{]}]{Br_2} B$$

2245. Составьте уравнения реакций в соответствии со схемой:

$$X \xrightarrow{\text{полимеризация}} Y \xrightarrow{\text{присоединение}} Z \xrightarrow{\text{замещение}} \text{Хлорциклогексан}$$

2246. Составьте уравнения реакций (с использованием структурных формул) по схеме:

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$$

Буквами A, B, C, D обозначены вещества, имеющие состав $C_6H_{12}Br_2$, C_6H_5Br, C_6H_6, C_6H_{12}. Укажите условия протекания реакций.

2247. Из метана, не используя другие органические вещества, получите стирол. Напишите уравнения реакций, укажите условия их протекания.

2248. Из ацетилена, не используя другие углеродсодержащие вещества, в три стадии получите *м*-нитрохлорбензол.

Циклоалканы

2249. Объемная доля оксида этилена в газовой смеси с циклоалканом равна 40,0%, а массовая доля — 23,0%. Установите состав циклоалкана и напишите структурные формулы всех его изомеров, относящихся к циклоалканам и имеющих 5 вторичных атомов углерода.

2250. До пропускания через воду газовой смеси, состоящей из аммиака, этана и циклопропана, ее относительная плотность по гелию была равна 8,05; после пропускания — 9,00. Вычислите массовые доли веществ в растворе, который получится при пропускании 1,00 л (н. у.) такой смеси через 10,0 мл гептена-1 (пл. 0,680 г/мл).

2251. При горении предельного циклического углеводорода образовалось 3,60 г воды. Вычислите массу углекислого газа, которая образуется при этом.

2252. Продукты сгорания циклоалкана пропустили последовательно через трубку с избытком безводного сульфата меди, а затем через склянку с 10,0 г раствора карбоната натрия. Масса

трубки увеличилась на 0,540 г, а раствор в склянке остался прозрачным. Вычислите массу этого раствора.

2253. Для полного сгорания 5,80 г смеси метана, пропена и циклопропана требуется 72,8 л (н. у.) воздуха. Вычислите объемную долю метана в исходной смеси.

2254. Для сгорания циклоалкана требуется в 4,5 раза больший объем кислорода, чем объем исходного углеводорода (при одинаковых условиях). Какая масса этого углеводорода сгорела, если масса осадка, образовавшегося при пропускании продуктов реакции через избыток раствора гидроксида бария, составила 1,97 г?

2255. Смесь циклобутана, 1-бром-3-хлорпропана и 1-бром-4-хлорбутана, в которой число атомов галогена равно числу молекул и в 7,625 раза меньше числа атомов водорода, обработали цинком. Вычислите объемные доли веществ в полученной смеси и ее плотность при 101 кПа и 22 °С.

2256. Один объем смеси бутина-1 и циклопропана с плотностью по водороду 23 смешали с 10 объемами водорода и нагревали над никелевым катализатором до прекращения реакции. Как изменится объем реакционной смеси после сжигания ее в достаточном объеме кислорода и приведения к нормальным условиям?

2257. Смесь хлорметана, бромметана и циклопропана, в которой общее число атомов равно 0,42 моль, а сумма атомов галогенов в 9 раз меньше числа атомов водорода, обработали избытком натрия. Вычислите плотность по водороду образовавшейся газовой смеси.

2258. Смесь 2,3-дихлорбутана, 1,2-дибромэтана, циклопентана и бутадиена-1,3 имеет в парах плотность по бутану 2,0845. После обработки исходной смеси избытком магния при нагревании плотность паров уменьшается в 2,341 раза, а после обработки исходной смеси избытком хлороводорода плотность паров увеличивается в 1,06 раза. Вычислите объемные доли веществ в парах исходной смеси.

Ароматические углеводороды

2259. В смеси двух хлорпроизводных кумола, различающихся на 1 атом хлора, число электронов в 5,2 раза больше числа атомов. Установите состав соединений, рассчитайте их массовые доли. Для вещества, массовая доля которого меньше, приведите формулы всех изомеров, содержащих 3 первичных атома углерода, а атомы хлора — у вторичных атомов углерода.

2260. Какой объем раствора серной кислоты с концентрацией 0,500 моль/л необходим для нейтрализации щелочи, образовав-

шейся при окислении 2,12 г 1,2-диметилбензола горячим нейтральным раствором перманганата калия?

2261. При полном сжигании 50 г смеси *о*-ксилола и *н*-октана объем израсходованного кислорода оказался в 1,5 раза больше объема образовавшегося углекислого газа (при одинаковых условиях). Какой минимальный объем раствора смеси гидроксидов натрия и калия, в котором концентрации ионов натрия и калия равны соответственно 0,500 и 0,100 моль/л, потребуется для поглощения продуктов сгорания?

2262. Из *н*-гептана массой 50,0 г получили ароматический углеводород, при этом выделился водород объемом 35,8 л (н. у.). Вычислите выход (%) продукта реакции дегидроциклизации.

2263. При каталитическом дегидрировании смеси циклогексадиена-1,3, циклогексана и циклогексена, в которой объемные доли компонентов равны, было получено 50,0 мл бензола (пл. 0,879 г/мл). Вычислите объем выделившегося при этом водорода (50 °С, 105 кПа).

2264. Смесь 5-хлорциклогексадиена-1,3 и 3,6-дихлорциклогексена-1 общей массой 68,2 г могут вступить в реакцию с 44,8 г гидроксида калия, находящегося в спиртовом растворе. Вычислите объем получающегося при этом бензола (пл. 0,879 г/мл).

2265. Раствор изопрена и пентина-2 в толуоле общей массой 4,56 г может вступить в реакцию с 12,8 г брома (без нагревания и катализаторов). Вычислите массовую долю толуола в исходном растворе.

2266. При гидрировании бензола до циклогексана масса поглощенного водорода составила 6,15% от массы исходного бензола. Вычислите выход (%) продукта реакции.

2267. Ацетилен пропустили при 600 °С через трубку с активированным углем. В смеси, собранной на выходе из трубки, число вторичных атомов углерода оказалось в 8 раз меньше числа первичных атомов углерода. Вычислите выход реакции тримеризации.

2268. Для проведения реакции алкилирования взяли 50,0 мл бромэтана (пл. 1,456 г/мл) и 50,0 мл бензола (пл. 0,879 г/мл). Какую массу целевого продукта можно получить при выходе реакции, равном 80,0%?

2269. При алкилировании смеси триметилбензола и диметилбензола была получена смесь только двух веществ. Выход реакции получения вещества с относительной молекулярной массой 134 равен 78%, а получения вещества с относительной молекулярной массой 148 — 85%. Суммарная масса этих веществ оказалась равной суммарной массе исходных веществ. Вычислите молярные доли углеводородов в исходной смеси.

2270. Для получения изопропилбензола взяли 14,0 мл 2-бромпропана (пл. 1,314 г/мл) и 8,87 мл бензола (пл. 0,879 г/мл). По окончании реакции изопропилбензол выделили в чистом виде, его объем оказался равным 11,1 мл (пл. 0,862 г/мл). Вычислите выход (%) изопропилбензола.

2271. Газ, выделившийся при бромировании бензола объемом 5,00 мл (пл. 0,879 г/мл), был поглощен избытком раствора нитрата серебра, при этом образовалось 6,58 г осадка. Вычислите выход (%) продукта реакции.

2272. С каким выходом прошло нитрование 11,7 г бензола стехиометрическим количеством смеси азотной и серной кислот (молярное соотношение кислот 1:2), если на нейтрализацию реакционной смеси было затрачено 554,4 г 10,0%-го раствора гидрокарбоната натрия?

2273. Смесь метилциклопентана и стирола обработали бромоводородом. Масса полученной смеси веществ после удаления избытка бромоводорода оказалась на 2,43 г больше массы исходной смеси. Такую же смесь углеводородов такой же массы сожгли, продукты сгорания пропустили через раствор гидроксида калия. В растворе объемом 500 мл концентрации кислой и средней соли оказались равными по 0,290 моль/л. Вычислите массовые доли веществ в исходной смеси.

2274. При каталитическом бромировании 50,0 мл толуола (пл. 0,867 г/мл), прошедшего с выходом 75,0%, была получена смесь двух монобромпроизводных и газ, которым обработали 70,0 г 40,0%-го раствора бутена-1 в октане. Вычислите массовые доли веществ в получившемся растворе.

2275. Смесь толуола, циклопентена и циклогексана общей массой 49,6 г может вступить в реакцию с 32,0 г брома, растворенном в тетрахлориде углерода. Известно, что для полного гидрирования исходной смеси, протекающей без разрыва С—С-связей, нужно 2,20 г водорода. Вычислите, во сколько раз в исходной смеси атомов водорода больше атомов углерода.

2276. Смесь стирола и этилциклогексана, способную вступить максимально с 4,48 л (н. у.) хлороводорода, сожгли, в результате чего образовалось 134,4 г смеси воды и углекислого газа. Какой объем воздуха был израсходован для сжигания исходной смеси?

2277. Порцию 1,6-дибромгексана обработали натрием. В полученной смеси веществ первичных атомов углерода оказалось в 15 раз меньше, чем вторичных атомов углерода. После удаления всей соли к смеси добавили 14 мл гексадиена (пл. 0,7 г/мл), при этом массовая доля брома составила 10%. Вычислите количество вещества натрия, вступившего в реакцию.

2278. При нитровании одного из гомологов бензола массой 31,8 г было получено только одно мононитропроизводное массой 45,3 г. Установите строение исходного и конечного продуктов.

2279. Гомолог стирола может присоединить 6,40 г иодоводорода. Образец этого же вещества такой же массы при сгорании образует 12,0 л углекислого газа (47 °С, 100 кПа). Установите возможное строение вещества.

2280. Смесь бензола и толуола общей массой 23,0 г обработали горячим нейтральным раствором перманганата калия. Органический слой и осадок отделили от раствора. Масса осадка оказалась равной 13,05 г. Чему равна масса органического слоя?

2281. Смесь бензола и его ближайшего гомолога обработали горячим нейтральным раствором перманганата калия. Органический слой и осадок отделили от раствора. Масса органического слоя уменьшилась по сравнению с исходной смесью на 18,4 г. Чему равна масса осадка?

2282. Для окисления 1,00 г смеси толуола и этилбензола в нейтральной среде потребовалось добавить 64,0 мл раствора перманганата калия с концентрацией 0,500 моль/л. Вычислите массовые доли веществ в исходной смеси.

2283. Какой объем раствора, в котором концентрации перманганата калия и серной кислоты равны соответственно 0,300 и 2,00 моль/л, требуется для окисления 6,70 г смеси диэтилбензола и тетраметилбензола?

2284. К горячему 15,0%-му раствору перманганата калия добавили 1,3-диметилбензол. Раствор нагревали до тех пор, пока весь углеводород не прореагирует; массовая доля перманганата калия снизилась при этом на 7,00%. Вычислите массовые доли веществ в образовавшемся растворе.

2285. К горячему 12,0%-му раствору перманганата калия добавили метилбензол. Раствор нагревали до тех пор, пока весь метилбензол не прореагирует. Массовая доля перманганата калия снизилась при этом на 3,00%. К полученному раствору добавили 1,4-диметилбензол и процедуру повторили. По окончании реакции массовая доля перманганата калия снизилась еще на 2,00%. Вычислите массовые доли веществ в образовавшемся растворе.

2286. Смесь толуола, 2,3-дибромбутана, бутина-2 и пропена имеет в парах плотность по этану 4,586. После обработки исходной смеси избытком цинка при нагревании плотность паров по этану при тех же условиях снизилась до 1,92. После обработки исходной смеси избытком хлороводорода плотность паров по этану возросла до 5,438. Вычислите объемные доли веществ в парах исходной смеси.

2287. Смесь бензола, 1,2-дибромэтана, пропина и бутена-2 имеет в парах плотность по азоту 3,536. После обработки исход-

ной смеси избытком цинка при нагревании плотность паров по азоту при тех же условиях снизилась до 1,821. После обработки исходной смеси избытком хлороводорода плотность паров по азоту возросла до 4,318. Вычислите объемные доли веществ в парах исходной смеси.

2288. Смесь 1,2-дибромпропана, гексана, стирола и пентена-1 имеет в парах плотность по воздуху 3,983. После обработки исходной смеси избытком цинка при нагревании плотность паров по воздуху при тех же условиях снизилась до 2,603. После обработки исходной смеси избытком брома без нагревания, освещения и в отсутствие катализаторов плотность паров по воздуху возросла до 6,741. Вычислите объемные доли веществ в парах исходной смеси.

2289. При бромировании *о*-ксилола на свету при нагревании была получена смесь моно-, ди- и трибромпроизводных, в которой масса смеси дибромпроизводных в 2 раза меньше массы смеси трибромпроизводных, но в 6 раз больше массы монобромпроизводного. В смеси дибромпроизводных на долю соединений, содержащих CH_3-группу, приходится 75%. Вычислите выход каждого из дибромпроизводных.

2290. При бромировании *м*-ксилола на свету при нагревании была получена смесь моно-, ди- и трибромпроизводных, в которой массовая доля монобромпроизводного равна 10%, а дибромпроизводных — 30%. В смеси трибромпроизводных каждый двенадцатый атом углерода связан с тремя атомами водорода. Вычислите выход каждого из трибромпроизводных.

2291. При хлорировании *п*-ксилола на свету была получена смесь моно-, ди- и трихлорпроизводных, в которой массовая доля дихлорпроизводных равна 20%, а трихлорпроизводных — 65%. В смеси дихлорпроизводных каждый третий первичный атом углерода связан с двумя атомами хлора. Вычислите выход каждого из дихлорпроизводных.

2292. Смесь метилциклогексана и толуола дегидрировали, при этом выделилось 0,8 моль водорода, а масса толуола осталась без изменения. Смесь органических веществ обработали избытком бромоводорода, а затем подвергли бромированию в темноте в присутствии бромида железа (III). В полученной смеси органических веществ общей массой 163,5 г, состоящей только из веществ состава C_7H_7Br, $C_7H_{13}Br$ и $C_7H_{12}Br_2$, массовая доля брома составила 53,82%. Какие изомеры имеют максимальную массовую долю?

2293. Порцию толуола, в которой содержится 1 моль первичных атомов углерода, подвергли мононитрованию. Выделенная смесь органических веществ имела массу на 29,35% больше массы исходной порции толуола. Эту смесь обработали при нагрева-

нии избытком водного раствора перманганата калия, в результате чего выделили 134 г смеси солей, в которой массовая доля азота равна 4,7%. Ни одна реакция не протекала с выходом 100%, побочные продукты не образовывались. Установите, какая реакция протекала с максимальным выходом, и вычислите его (при образовании изомеров выход считать на сумму изомеров).

3.4. КОМБИНИРОВАННЫЕ УПРАЖНЕНИЯ И ЗАДАЧИ ПО ХИМИИ УГЛЕВОДОРОДОВ

2294. Приведите формулы всех углеводородов, которые в реакции с избытком брома образуют соединения состава $C_4H_6Br_4$, а при гидрировании превращаются в неразветвленный алкан. Напишите уравнения реакций.

2295. Приведите все возможные формулы углеводородов состава C_5H_4, реагирующих с бромом (в защищенной от света склянке в отсутствие катализаторов) с образованием соединений состава $C_5H_4Br_8$, а при гидрировании превращающихся в *н*-пентан. Напишите уравнения реакций.

2296. Приведите структурные формулы всех углеводородов, имеющих состав C_7H_{14} и образующих при гидрировании 2,2-диметилпентан.

2297. Приведите формулы двух нециклических соединений, имеющих состав C_nH_{2n-2} и относящихся к разным гомологическим рядам.

2298. Приведите формулы двух циклических соединений, имеющих состав C_nH_{2n-4} и относящихся к разным гомологическим рядам.

2299. Приведите формулы двух соединений состава C_nH_{2n-4}, одно из которых имеет замкнутую углеродную цепь, а другое — открытую разветвленную цепь.

2300. Приведите формулы двух соединений состава $C_nH_{2n-4}Br_2$, одно из которых имеет замкнутую углеродную цепь, а другое — открытую неразветвленную цепь.

2301. Среди соединений C_7H_{10} выберите такое, которое не может существовать в виде стереоизомеров и имеет в своем составе один третичный атом углерода.

2302. При горении углеводорода, не содержащего кратных связей, количество образующейся воды равно количеству вещества углекислого газа. Приведите общую формулу гомологического ряда, к которому относится этот углеводород. Как называется этот гомологический ряд?

2303. В молекуле одного из алкенов находится 24 e^-. Составьте его структурную формулу и формулу его изомера.

2304. Приведите структурную формулу одного из углеводородов, относящегося к гомологическому ряду, представители которого в реакции с избытком хлороводорода образуют соединения состава $C_nH_{2n-2}Cl_2$.

2305. Приведите структурные формулы любых углеводородов двух разных гомологических рядов, представители которых в каталитической реакции с избытком воды образуют соединения состава $C_nH_{2n}O$.

2306. Приведите структурную формулу одного из углеводородов, относящегося к гомологическому ряду, представители которого в реакции с избытком брома, взятого в виде раствора в CCl_4, образуют соединения состава $C_nH_{2n-6}Br_4$.

2307. Приведите структурную формулу одного из хлорпроизводных углеводородов, относящегося к гомологическому ряду, представители которого в реакции с избытком брома, взятого в виде раствора в CCl_4, образуют соединения состава $C_nH_{2n-3}ClBr_2$.

2308. При сгорании некоторых углеводородов наблюдаются следующие отношения между количествами веществ продуктов реакции: а) количество вещества воды больше количества вещества углекислого газа; б) количество вещества воды меньше количества вещества углекислого газа; в) количество вещества воды равно количеству вещества углекислого газа. Какие можно сделать предположения относительно принадлежности этих углеводородов к тому или иному гомологическому ряду?

2309. Имеются хлорид натрия и диметилпропан. Получите с помощью только этих веществ 2,2,5,5-тетраметилгексан.

2310. Два углеводорода имеют одинаковое число атомов углерода в молекулах, но разное число атомов водорода (в обоих углеводородах атомов водорода меньше удвоенного числа атомов углерода). Один из углеводородов реагирует с хлороводородом и перманганатом калия в слабощелочном растворе, другой — нет. Предложите возможные структуры углеводородов. С каким веществом будут реагировать оба углеводорода? Приведите уравнения всех реакций.

2311. Из двух углеводородов, отличающихся по составу только на два атома углерода, один вступает в реакцию с бромоводородом, другой — нет. Предложите возможные структуры углеводородов. С каким веществом будут реагировать оба углеводорода? Приведите уравнения всех реакций.

2312. Из двух углеводородов, отличающихся по составу только на три гомологические разности, один вступает в реакцию с водой, другой — нет. Предложите возможные структуры углеводородов. С каким веществом будут реагировать оба углеводорода? Приведите уравнения всех реакций.

2313. Из двух углеводородов, отличающихся по составу только на две гомологические разности, один вступает в реакцию с бромоводородом, другой — нет. Предложите возможные структуры углеводородов. С каким веществом будут реагировать оба углеводорода? Приведите уравнения всех реакций.

2314. Углеводород А реагирует с азотной кислотой с образованием вещества состава $C_7H_5N_3O_6$. При кипячении вещества А с водным раствором перманганата калия получается соединение состава $C_7H_5O_2K$. Напишите уравнение реакции с использованием структурных формул, протекающей между веществом А и хлором на свету.

2315. Приведите возможные структуры бромалканов, которые при нагревании со спиртовым раствором KOH образуют вещество C_5H_{10}, обесцвечивающее бромную воду и существующее в виде двух стереоизомеров. Напишите уравнения реакций.

2316. Углеводород C_8H_{10} в реакции с азотной кислотой в молярном соотношении 1:1 в присутствии серной кислоты образует единственный продукт $C_8H_9NO_2$, а при окислении перманганатом калия — соединение состава $C_8H_6O_4$. Напишите структуру углеводорода и уравнения реакций.

2317. Углеводород А реагирует с бромом (в растворе в тетрахлориде углерода), превращаясь в соединение состава $C_8H_8Br_2$. В реакции с перманганатом калия в нейтральной среде углеводород А превращается в вещество состава $C_8H_{10}O_2$. Напишите уравнение реакции с использованием структурных формул, протекающей между веществом А и водой в кислой среде.

2318. Органическое вещество А можно получить в одну стадию либо действием гидроксида калия на органическое соединение В, либо действием хлороводорода на органическое соединение С. Вещество А способно к полимеризации. Приведите одну из возможных структур А с минимально возможным числом атомов углерода и напишите уравнения упомянутых реакций.

2319. Органическое вещество А можно получить в одну стадию либо действием гидроксида натрия на органическое соединение В, либо действием бромоводорода на органическое соединение С. Вещество А существует в виде *цис-транс*-изомеров. Приведите одну из возможных структур А с минимально возможным числом атомов углерода и напишите уравнения упомянутых реакций.

2320. Органическое вещество А можно получить в одну стадию либо взаимодействием соединения В с гидроксидом калия, либо взаимодействием соединения С с магнием. Соединения В и С способны реагировать с бромом в темноте в присутствии катализатора. Приведите структуру А с минимально возможным

числом атомов углерода. Напишите уравнения упомянутых реакций.

2321*. Составьте уравнения реакций по схеме:

$$\text{Этен} \xrightarrow{1} \text{A} \xrightarrow{2} \text{B} \xrightarrow{3} \text{C} \xrightarrow{4} \text{1,2,4-Трибромбутан}$$

Первая и четвертая реакции протекают по механизму A_E.

2322*. Составьте уравнения реакций по схеме:

$$ClCH_2-(CH_2)_4-CH_2Cl \xrightarrow{1} A \xrightarrow{2} B \xrightarrow{3} C \xrightarrow{4} C_6H_5-CH_2Cl$$

Третья реакция протекает по механизму S_E, а четвертая — по механизму S_R.

2323*. Составьте уравнения реакций по схеме:

$$\text{Этан} \xrightarrow{1} \text{A} \xrightarrow{2} \text{B} \xrightarrow{3} \text{C} \xrightarrow{4} \text{Бутадиен}$$

Первая реакция протекает по механизму S_R, а третья — по механизму A_E.

2324*. Приведите возможные структурные формулы двух соединений, имеющих состав C_7H_8, для одного из которых характерны реакции, протекающие по механизму S_E, а для другого — по механизму A_E. Приведите примеры реакций.

2325*. Приведите возможную структурную формулу вещества, имеющего состав C_8H_{10}, вступающего в реакции, протекающие по механизму S_E и S_R и окисляющегося избытком перманганата калия в кислой среде в соединение состава $C_8H_6O_4$. Приведите примеры реакций.

2326*. Приведите возможную структурную формулу вещества, имеющего состав $C_{10}H_{14}$, вступающего в реакции, протекающие по механизму S_E и S_R и окисляющегося избытком перманганата калия в кислой среде в соединение состава $C_9H_6O_6$. Приведите примеры реакций.

2327*. Вещество А состава C_9H_{10} вступает в реакции, протекающие по механизму A_E. Образующееся в ходе одной из таких реакций вещество В может вступать в реакции, протекающие по механизмам S_E и S_R. Приведите возможные структурные формулы веществ А и В, напишите уравнения реакций.

2328*. Вещество А состава C_8H_7Cl вступает в реакции, протекающие по механизму A_E. Образующееся в ходе одной из таких реакций вещество В может вступать в реакции полимеризации. Приведите возможные структурные формулы веществ А и В, напишите уравнения реакций.

2329. Массовая доля углерода в углеводороде равна 81,82%, масса 1,00 л (н. у.) этого углеводорода равна 1,964 г. Вычислите, во сколько раз объем воздуха должен превышать объем углеводорода (одинаковые условия) для его полного сгорания.

2330. Массовая доля углерода в циклическом углеводороде, плотность паров которого составляет 2,41 г/л при нормальных условиях, равна 88,9%. Установите формулу углеводорода.

2331. Массовая доля водорода в циклическом углеводороде равна 14,39%. Плотность паров этого углеводорода по гелию равна 14. Установите формулу углеводорода.

2332. Смесь изопрена, циклогексена и 1-метилциклопентена с относительной плотностью паров по водороду 39,83 полностью сожгли. Образовавшуюся смесь газообразных продуктов пропустили через взвесь мела в воде. Выяснилось, что масса осадка уменьшилась на 70,0 г. Какой объем 10,0%-го раствора брома в тетрахлорметане (пл. 1,6 г/мл) может обесцветить эта смесь?

2333. Продукты полного сгорания порции углеводорода пропустили последовательно через трубку с оксидом фосфора (V) и склянку с раствором щелочи (оба реактива в большом избытке). Масса трубки увеличилась на 3,6 г, а склянки — на 17,6 г. Установите строение углеводорода, если известно, что он реагирует с избытком бромоводорода в молярном отношении 1 : 1.

2334. Смесь двух циклогексадиенов и циклогексена может вступить в реакцию с 0,035 моль иода, растворенном в хлороформе. При полном гидрировании (без разрыва C—C-связей) образуется 2,10 г циклогексана. Вычислите массовую долю циклогексена в смеси.

2335. К 150 г 3,00%-го раствора перманганата калия прибавляли циклопентен до тех пор, пока массовая доля перманганата калия не снизилась ровно в 3 раза. Вычислите объем раствора серной кислоты с концентрацией 0,400 моль/л, необходимый для нейтрализации реакционной смеси.

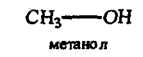
2336. Смесь массой 31,4 г двух ненасыщенных углеводородов с плотностью по водороду 39,25, относительные молекулярные массы которых различаются на 14 ед., а массовая доля водорода составляет 12,102%, окислили нейтральным раствором перманганата калия на холоду, при этом образовалось 29 г осадка. Оба продукта реакции давали синее окрашивание с гидроксидом меди (II). Предложите возможные структуры углеводородов и рассчитайте массы углеводородов.

2337. Смесь массой 50,6 г двух ненасыщенных углеводородов с плотностью паров 3,7649 г/л (н. у.), относительные молекулярные массы которых различаются на 28 ед., а массовая доля водорода составляет 12,253%, окислили нейтральным раствором перманганата калия на холоду, при этом образовалось 55,1 г

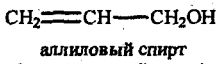
осадка. Оба продукта реакции давали синее окрашивание с гидроксидом меди (II). Предложите возможные структуры углеводородов и рассчитайте массы углеводородов.

3.5. СПИРТЫ

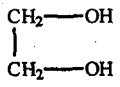
Спиртами называют гидроксильные производные углеводородов, в которых группа —ОН непосредственно не связана с атомами углерода ароматического кольца. По числу гидроксильных групп различают спирты одноатомные (одна гидроксильная группа), двухатомные, или гликоли (две гидроксильные группы), трехатомные и т. д. Двухатомные, трехатомные и спирты с большим числом гидроксильных групп часто называют многоатомными. По характеру углеводородного радикала различают спирты насыщенные (производные алканов), ненасыщенные (производные алкенов и других ненасыщенных углеводородов), циклические (производные циклоалканов), ароматические. Ниже приведены примеры разных типов спиртов:



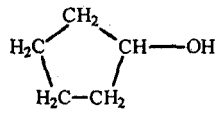
метанол
(насыщенный спирт)



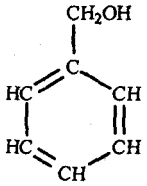
аллиловый спирт
(ненасыщенный спирт)



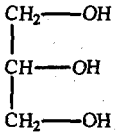
этиленгликоль
(двухатомный спирт)



циклопентанол
(циклический спирт)

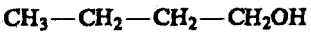


бензиловый спирт
(ароматический спирт)

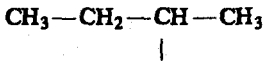


глицерин
(трехатомный спирт)

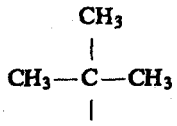
Спирты, у которых гидроксильная группа находится у первичного атома углерода, называются первичными; у вторичного атома углерода — вторичными и у третичного атома углерода — третичными спиртами. Например:



бутанол-1
(первичный)



бутанол-2
(вторичный)



метилпропанол-2
(третичный)

Рассмотрим физические свойства спиртов. Первые члены различных гомологических рядов спиртов, как правило, жидкости. В гомологических рядах по мере увеличения относительной молекулярной массы увеличиваются температуры плавления и кипения, растворимость в воде понижается. Высшие спирты представляют собой твердые вещества, практически не растворимые в воде.

Химические свойства спиртов рассмотрим на примере гомологического ряда предельных одноатомных спиртов $C_nH_{2n+1}OH$.

Спирты обладают кислотными свойствами и реагируют со щелочными металлами с образованием *алкоголятов*, которые можно рассматривать как соли спиртов, например:

$$2CH_3OH + 2Na \rightarrow 2CH_3ONa + H_2\uparrow$$

Спирты — очень слабые кислоты и в реакции со щелочами и солями неорганических кислот (например, с гидрокарбонатом натрия) не вступают. Алкоголяты практически полностью гидролизуются в водном растворе, например:

$$C_2H_5OK + H_2O \rightarrow C_2H_5OH + KOH$$

Для спиртов характерны реакции нуклеофильного замещения (S_N). Спирты реагируют с газообразными галогеноводородами (в отсутствие воды), например:

$$C_2H_5OH + HCl \rightarrow C_2H_5Cl + H_2O$$

При нагревании в присутствии концентрированной серной кислоты (или других эффективных водоотнимающих веществ) от молекулы спирта отщепляется вода, например:

$$C_2H_5OH \rightarrow CH_2{=}CH_2 + H_2O$$

Реакции отщепления протекают по механизму Е (элиминирование).

Параллельно с внутримолекулярной дегидратацией может протекать межмолекулярная дегидратация, в результате которой образуется простой эфир:

$$2C_2H_5OH \rightarrow C_2H_5{-}O{-}C_2H_5 + H_2O$$

Простыми эфирами называются органические соединения, в которых углеводородные радикалы соединены атомом кислорода ($R{-}O{-}R'$).

Изменяя концентрацию H_2SO_4 и температурный режим, можно добиться преимущественного протекания только одной реакции. Протеканию внутримолекулярной дегидратации способству-

ет введение большого избытка кислоты и более сильного нагревания (свыше 140 °С). При дегидратации бутанола-2 и других вторичных спиртов возможно образование смеси продуктов. Основной продукт образуется в соответствии с правилом Зайцева. Этанол в более жестких условиях подвергается дегидратации — дегидрированию с образованием бутадиена (реакция уже приводилась).

Спирты окисляются оксидом меди (II) при нагревании, например:

$$C_2H_5OH + CuO \rightarrow CH_3\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}H + Cu + H_2O$$

Первичные спирты образуют при этом альдегиды, а вторичные — кетоны.

Первичные и вторичные спирты окисляются в подкисленном растворе перманганатом калия и дихроматом калия. Метанол образует при этом CO_2; первичные спирты, кроме метанола, — альдегиды или кислоты. Например, окисление этанола дихроматом калия на холоду заканчивается образованием уксусной кислоты, а при нагревании — ацетальдегида:

$$3C_2H_5OH + 2K_2Cr_2O_7 + 8H_2SO_4 \rightarrow 3CH_3COOH + 2Cr_2(SO_4)_3 + 2K_2SO_4 + 11H_2O$$

$$3C_2H_5OH + K_2Cr_2O_7 + 4H_2SO_4 \rightarrow 3CH_3\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}H + Cr_2(SO_4)_3 + K_2SO_4 + 7H_2O$$

Образующиеся при окислении вторичных спиртов кетоны могут окисляться дальше с разрывом связей С—С, процесс протекает нестехиометрично.

Спирты вступают в реакции с неорганическими и органическими кислотами с образованием сложных эфиров. Рассмотрим образование сложного эфира на примере глицерина:

$$\begin{array}{l} CH_2{-}OH \\ | \\ CH{-}OH \\ | \\ CH_2{-}OH \end{array} + 3HNO_3 \rightarrow \begin{array}{l} CH_2{-}O{-}NO_2 \\ | \\ CH{-}O{-}NO_2 \\ | \\ CH_2{-}O{-}NO_2 \end{array} + 3H_2O$$

Сложный эфир глицерина и азотной кислоты — тринитрат глицерина — образуется в присутствии серной кислоты.

Многоатомные спирты имеют некоторые особенности по сравнению с одноатомными. Они вступают в реакции комплексообразования с гидроксидами некоторых металлов. Качественной реакцией на этиленгликоль, глицерин и другие многоатомные спирты является взаимодействие с гидроксидом меди (II), сопровождающееся появлением синего окрашивания.

Спирты получают гидратацией алкенов, а также щелочным гидролизом галогеналканов, например:

$$C_2H_5Cl + KOH \text{ (водный раствор)} \rightarrow C_2H_5OH + KCl$$

Этанол образуется в результате брожения глюкозы. Метанол синтезируют по реакции

$$CO + 2H_2 \rightarrow CH_3OH$$

Процесс проводят под большим давлением (до 10 МПа) при нагревании и в присутствии катализаторов.

Пример 64. При действии водного раствора гидроксида калия на 5,00 г бромалкана получили 5,712 г бромида калия. Какую массу алкоголята натрия можно получить при обработке образовавшегося одновременно с солью спирта избытком натрия? Считать, что вторая реакция в отличие от первой протекает количественно.

Решение. Формула бромалкана в общем виде $C_nH_{2n+1}Br$. При обработке бромалкана водным раствором щелочи образуются спирт и соль:

$$C_nH_{2n+1}Br + KOH \rightarrow KBr + C_nH_{2n+1}OH \quad (I)$$

Вычислим количество вещества образовавшейся соли по формуле

$$\nu(KBr) = m(KBr) : M(KBr);\ \nu(KBr) = 5{,}712 : 119 = 0{,}048 \text{ моль}.$$

Из условия задачи следует, что реакция гидролиза бромалкана протекала с выходом меньше, чем 100%, следовательно, $\nu(KBr) < \nu(C_nH_{2n+1}Br)$.

Выразим количество вещества бромалкана: $\nu(C_nH_{2n+1}Br) = 5 : (14n + 81)$.

Решим неравенство:

$$\frac{5}{14n+81} > 0{,}048;\ n < 1{,}65;\ n = 1.$$

Таким образом, получившийся спирт — метанол; в соответствии с уравнением реакции $\nu(CH_3OH) = \nu(KBr) = 0{,}048$ моль.

Между натрием и метанолом протекает реакция

$$2CH_3OH + 2Na \rightarrow 2CH_3ONa + H_2\uparrow \quad (II)$$

По уравнению реакции (II):

$$\nu(CH_3ONa) = \nu(CH_3OH) = 0{,}048 \text{ моль}.$$

Рассчитаем массу образовавшегося алкоголята:

$$m(CH_3ONa) = M(CH_3ONa)\,\nu(CH_3ONa);\ m(CH_3ONa) = 54 \cdot 0{,}048 = 2{,}59 \text{ г}.$$

Пример 65. При нагревании смеси двух предельных вторичных одноатомных спиртов с небольшим количеством серной кислоты была получена смесь трех органических веществ, относящихся к одному классу соединений, в равном молярном соотношении общей массой 10,44 г, при этом выделилась вода массой 1,62 г. Установите структурные формулы исходных соединений и продуктов реакции.

Решение. Формулы предельных одноатомных спиртов: $C_nH_{2n+1}OH$ и $C_nH_{2m+1}OH$.

При нагревании смеси спиртов с серной кислотой получились простые эфиры:

$$2C_nH_{2n+1}OH \rightarrow C_nH_{2n+1}—O—C_nH_{2n+1} + H_2O$$

$$2C_mH_{2m+1}OH \rightarrow C_mH_{2m+1}—O—C_mH_{2m+1} + H_2O$$

$$C_nH_{2n+1}OH + C_mH_{2m+1}OH \rightarrow C_nH_{2n+1}—O—C_mH_{2m+1} + H_2O$$

Вычислим количество вещества воды по формуле

$$\nu(H_2O) = m(H_2O) : M(H_2O);\ \nu(H_2O) = 1{,}62 : 18 = 0{,}09 \text{ моль}.$$

Из условия задачи вытекает, что

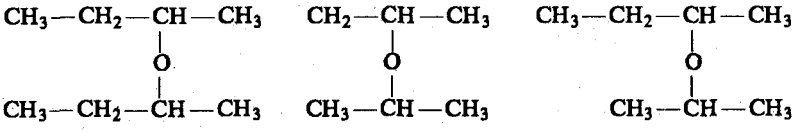
$$\nu \text{ (каждого эфира)} = {}^1/_3\nu(H_2O) = 0{,}3333 \cdot 0{,}09 = 0{,}03 \text{ моль}.$$

Выразим количества веществ каждого эфира через введеные переменные m и n и составим уравнение:

$$(28n + 18) \cdot 0{,}03 + (28m + 18) \cdot 0{,}03 + (14n + 14m + 18) \cdot 0{,}03 = 10{,}44, \text{ откуда } n + m = 7.$$

Поскольку n — целое число, а при $n = 1$ и $n = 2$ вторичных спиртов нет, единственно возможное решение уравнения: $n = 3$; $m = 4$. Таким образом, в исходной смеси находились пропанол-2 и бутанол-2.

Формулы образовавшихся сложных эфиров:



ВОПРОСЫ, УПРАЖНЕНИЯ И ЗАДАЧИ

2338. Почему температуры кипения спиртов выше, чем у соответствующих углеводородов?

2339. Как проявляется взаимное влияние гидроксильных групп в многоатомных спиртах?

2340. В чем заключается разница в механизмах реакции замещения, в которые вступают алканы и спирты?

2341. Для каких целей применяют глицерин и этиленгликоль?

2342. Какие важные вещества получают из глицерина и этиленгликоля?

2343. Напишите уравнение реакции взаимодействия 4-бром-3-метилбутанола-1 с водным раствором иодоводорода.

2344. Какое соединение может образоваться при межмолекулярной дегидратации 2,3-диметилбутанола-1? Напишите уравнение реакции.

2345. Какие алкены могут образоваться при дегидратации спиртов: а) 4,4-диметилпентанола-2; б) 3,3-диметилпентанола-2? Напишите уравнения реакций.

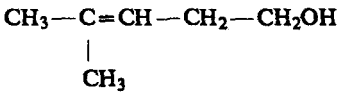
2346. Напишите уравнения реакций взаимодействия: а) глицерина с калием; б) этиленгликоля с барием.

2347. Напишите уравнение реакции этиленгликоля с азотной кислотой.

2348. Напишите уравнение реакции этилата натрия с подкисленным раствором перманганата калия.

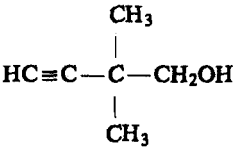
2349. Получите изопропиловый спирт двумя разными реакциями.

2350. Назовите соединение



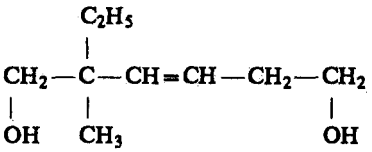
Приведите изомер этого соединения, существующий в форме *цис-* и *транс*-изомеров.

2351. Назовите соединение



Приведите изомер этого соединения, имеющий в молекуле только один вторичный атом углерода.

2352. Назовите соединение



Приведите изомер этого соединения, имеющий в молекуле максимальное число вторичных атомов углерода.

2353. Приведите формулы первого и второго члена гомологического ряда ненасыщенных двухатомных спиртов.

2354. Приведите по одному гомологу для метилэтилового эфира и метанола, которые являлись бы изомерами.

2355. Приведите формулы простых эфиров, изомерных бутанолу.

2356. Приведите формулу простого эфира, имеющего два разных разветвленных углеродных радикала и с минимально возможным числом атомов углерода в молекуле.

2357. Напишите структурную формулу простейшего двухатомного спирта, имеющего разветвленную углеродную цепь. Приведите для этого соединения формулы четырех изомеров и двух ближайших гомологов.

2358. Напишите формулу простейшего третичного спирта с четырьмя первичными атомами углерода. Приведите формулу изомера этого соединения, не являющегося спиртом.

2359. Напишите формулу простейшего первичного спирта с разветвленным углеродным скелетом и имеющего *цис-транс*-изомеры. Приведите формулу изомера, имеющего кратную связь кислород-углерод.

2360. Чему равно минимально возможное число n для нециклических спиртов гомологического ряда с общей формулой $C_nH_{2n}O_2$?

2361. Чему равно минимально возможное число n для спирта, существующего в форме *цис-транс*-изомеров и имеющего молекулярную формулу $C_nH_{2n}O$?

2362. Приведите формулы всех ароматических спиртов состава $C_8H_{10}O$.

2363. Напишите формулу простейшего первичного ароматического спирта с разветвленным углеродным радикалом. Приведите формулы двух его изомеров, относящихся к разным классам и не являющихся спиртами.

2364. Среди перечисленных ниже веществ найдите такие, которые могут иметь изомеры: этиленгликоль, дихлорэтан, этанол, этилен. Напишите для каждого из выбранных веществ по одному изомеру.

2365. При горении спирта образовались равные количества веществ воды и углекислого газа. К каким гомологическим рядам может относиться этот спирт?

2366. Составьте уравнения реакций по схеме

$$C_nH_{2n+1}ONa \rightarrow C_nH_{2n+2}O \rightarrow C_{2n}H_{4n-2} \rightarrow C_{2n}H_{4n-1}Cl$$

2367. Составьте уравнения реакций по схеме

$$C_nH_{2n}ClBr \rightarrow C_nH_{2n} \rightarrow C_nH_{2n+2}O \rightarrow C_{2n}H_{4n+2}O$$

2368. Составьте уравнения реакций по схеме

$$C_nH_{2n-2}Cl_2 \rightarrow C_nH_{2n-2} \rightarrow C_nH_{2n}O_2 \rightarrow C_nH_{2n-2}O_2K_2$$

2369. Напишите уравнения реакций:

а) Метанол + $KMnO_4$ (подкисленный раствор) $\xrightarrow{t}$ X + ...

б) X (избыток) + $Ca(OH)_2$ →

2370. Напишите уравнения реакций:

а) Пропанол-1 + $KMnO_4$ (подкисленный раствор) $\xrightarrow{t}$ X + ...

б) X + ZnO →

2371. Напишите уравнения реакций:

а) Метанол + $K_2Cr_2O_7$ (подкисленный раствор) $\xrightarrow{t}$ X + ...

б) X + Na_2O_2 (т) →

2372. Напишите уравнения реакций:

а) Этанол + Оксид фосфора (V) $\xrightarrow{t}$ X + ...

б) X + $KMnO_4$ (слабощелочной раствор) →

2373. Как можно различить метилпропанол-2 и метилпропанол-1?

2374. Из 1,2-дибромпропена получите пропиленгликоль без использования других органических веществ. Напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания.

2375. Из какого вещества в результате последовательно протекающих реакций крекинга, гидрирования и окисления можно получить этиленгликоль, не используя другие органические вещества?

2376. Из какого вещества в результате последовательно протекающих реакций окисления, присоединения и замещения можно получить пропанол-2, не используя другие органические вещества?

2377. Из какого циклоалкена в результате последовательно протекающих реакций гидрирования и двух реакций замещения можно получить циклопентанол, не используя другие органические вещества?

2378. Предложите оптимальный способ получения бензилового спирта из 2-бромгептана без использования других органических веществ. Напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания.

2379. Из 1,2-дибромпропана получите диизопропиловый эфир без использования других органических веществ. Напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания.

2380. Из 5-иодпентанола-1, не используя другие углеродсодержащие вещества, в три стадии получите хлорциклопентан.

2381. Имеются 1-иод-5-хлорпентан, натрий и вода. Получите с помощью этих веществ циклопентанол.

2382. Среди изомерных метилхлорциклогексадиенов выберите такой, из которого, не используя других углеродсодержащих соединений, можно получить бензиловый спирт.

2383. Из пропанола-1, серной кислоты и бромида калия, не расходуя никаких других соединений, получите два изомерных алкана.

2384. Составьте уравнения реакций по схеме:

а) A + B → Циклопентанол

б) C + D → Циклопентанол

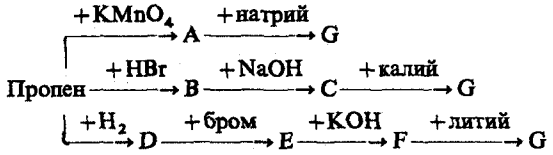
2385. Составьте уравнения реакций по схеме: алкан → арен → галогенпроизводное углеводорода → ароматический спирт → алкоголят.

2386. Составьте уравнения реакций по схеме: дигалогеналкан → алкен → спирт → простой эфир (8 атомов углерода в молекуле).

2387. Составьте уравнения реакций по схеме: галогеналкан → алкен → многоатомный спирт → динитрат многоатомного спирта.

2388. Составьте уравнения реакций по схеме: алкан → ... → алкен → ... → простой эфир, содержащий 14 атомов водорода в молекуле.

2389. Составьте уравнения и подберите необходимые условия для осуществления реакций по схеме:



Вещества в схеме не повторяются, G — простое вещество.

2390. К порции гексана добавили равное количество вещества предельного одноатомного спирта, в результате чего общее число атомов увеличилось на 75,0%. Установите состав спирта, вычислите его массовую долю в полученной смеси и напишите структурные формулы всех его изомеров, имеющих в молекуле вторичные атомы углерода.

2391. Вычислите, какой объем 3-метилбутанола-1 (пл. 0,812 г/мл) можно получить из 10,0 г соответствующего иодалкана при условии 60,0%-го выхода.

2392. Вычислите, какую массу спирта можно получить из 10,0 мл 2-иодпропана (пл. 1,70 г/мл) при условии 50,0%-го выхода.

2393. Бромалкан разделили на две равные порции. Одну из них обработали избытком водного раствора гидроксида калия и получили с выходом 40,0% 0,5 моль третичного спирта. Другую порцию обработали избытком спиртового раствора гидроксида калия и получили с выходом 80,0% смесь двух изомерных алкенов общей массой 70,0 г. Установите строение исходного соединения.

2394. Вычислите массовые доли веществ в растворе, который получится при добавлении 1,00 г воды к 75,0 г 6,00%-го раствора этилата натрия в этаноле.

2395. Вычислите количество вещества метанола и массу калия, которые следует взять для приготовления 10,0 г 5,00%-го раствора метилата калия в метаноле.

2396. При пропускании через слабощелочной раствор перманганата калия смеси этена и пропена получили 1,74 г осадка. Образовавшиеся спирты выделили в чистом виде и обработали 1,15 г натрия. Вычислите объем выделившегося водорода (н. у.).

2397. При пропускании 3,78 г смеси этена и пропена через избыток слабощелочного раствора перманганата калия была получена смесь спиртов, которая после полного удаления воды была обработана избытком калия. Объем выделившегося газа составил 2,69 л (н. у.). Вычислите суммарную массу образовавшихся алкоголятов.

2398. Для окисления 3,96 г смеси пропанола-1 и этанола в кислой среде потребовалось добавить 9,66 г перманганата калия. Вычислите массовые доли спиртов в исходной смеси.

2399. В результате нагревания этанола в присутствии катализатора образовались два непредельных углеводорода. В полученной смеси веществ вторичных атомов углерода оказалось в 6 раз меньше первичных атомов углерода. Вычислите выходы обеих реакций.

2400. При дегидратации 22,2 г предельного одноатомного спирта была получена смесь двух изомеров в молярном соотношении 1 : 9. Побочного продукта было выделено 1,68 г. Установите строение исходного соединения.

2401. Предельный одноатомный спирт массой 44,4 г обработали концентрированным раствором серной кислоты при нагревании; внутримолекулярная дегидратация прошла с выходом 75,0%. Выделившийся газ пропустили через избыток щелочного раствора перманганата калия; масса образовавшегося осадка составила 26,1 г. Установите строение спирта, если известно, что при его окислении образуется кетон.

2402. Порцию пропанола-1 дегидратировали в присутствии специального катализатора. Объем продуктов реакции после удаления паров воды составил 23,15 л (110 кПа, 110 °С), а мас-

са — 45,6 г. Вычислите массу спирта, вступившего в реакцию (дегидратация прошла по внутримолекулярному и межмолекулярному типу).

2403. Порцию безводного пропанола массой 42,0 г пропустили через трубку с оксидом алюминия при 250 °С. Продукты реакции дегидратации, протекающей по внутримолекулярному и межмолекулярному типу, пропустили через склянку с концентрированным раствором серной кислоты, масса которой увеличилась на 8,10 г. Вычислите массы непоглощенных продуктов реакции.

2404. При окислении 11,1 г предельного одноатомного спирта образовался кетон, при сгорании которого выделилось 10,8 г воды. Такую же массу этого же спирта нагрели с концентрированным раствором серной кислоты; средняя молярная масса обезвоженных продуктов реакции оказалась равной 105,3 г/моль. Установите, какие продукты и в каком количестве (моль) образовались при дегидратации спирта.

2405. Смесь этиленгликоля и одноатомного спирта (разветвленный углеродный скелет и одна С=С-связь) общей массой 6,90 г в реакции с перманганатом калия в нейтральном растворе образует 4,06 г осадка. Максимальное количество вещества уксусной кислоты, с которым может вступить исходная смесь той же массы, равно 0,130 моль. Установите строение спирта.

2406. При дегидратации предельного одноатомного первичного спирта с разветвленным углеродным скелетом выделился алкен, который смешали с равным объемом азота. Плотность полученной газовой смеси стала равна плотности пропена при тех же условиях. Установите строение спирта.

2407. При сгорании порции предельного многоатомного спирта образовалось 22,4 л углекислого газа (н. у.) и 21,6 г воды. Такую же порцию спирта обработали избытком натрия, выделившийся газ собрали и смешали с 11,2 л пропана. Образовавшаяся газовая смесь оказалась тяжелее этилена, но легче этана. Установите состав и возможное строение исходного соединения.

2408. Предельный многоатомный спирт нециклического строения количеством вещества 1,50 моль обработали избытком щелочного металла. Выделившийся газ смешали с 22,4 л (н. у.) циклопропана. Плотность полученной газовой смеси при −30 °С и нормальном давлении составила 0,716 г/л. Установите возможное строение исходного спирта, если известно, что количество вещества образующейся при его полном сгорании воды равно количеству вещества кислорода, расходующегося на сгорание.

2409. В результате обработки 4,11 г бромалкана водным раствором гидроксида калия при нагревании получили спирт. Этот спирт дегидратировали, в результате чего получили 242 мл (н. у.)

смеси алкенов. Установите строение исходного соединения, принимая во внимание, что обе реакции прошли с выходом 60,0%.

2410. При сжигании предельного двухатомного нециклического спирта количество вещества образующейся воды равно количеству вещества кислорода, расходующегося на сгорание. Какое количество вещества водорода выделится при обработке избытком калия такой порции этого спирта, которая при сгорании образует 1,5 моль углекислого газа?

2411. При сгорании 0,5 моль первичного одноатомного спирта с открытой неразветвленной углеродной цепью образовалось 2,5 моль углекислого газа, а массовая доля воды в продуктах сгорания составила 24,7%. Установите возможное строение спирта (приведите две структурные формулы).

2412. При действии водного раствора гидроксида калия на 100 г галогеналкана при выходе, равном не менее 80,0%, получено 25,0 г этанола. Вычислите массу образовавшейся при этом соли.

2413. При действии водного раствора гидроксида калия на 10,0 г иодалкана получили спирт, который в парах (при 150 °С и нормальном давлении) занял объем 2,37 л. Вычислите, какую массу простого эфира при выходе, равном 60,0%, можно получить из этой порции спирта.

2414. Смесь оксида углерода (II) и водорода, имеющую плотность по гелию меньше 2,5, поместили в реактор для синтеза метанола. По окончании реакции, которая прошла с 60,0%-м выходом спирта, давление упало на 15,4% (температура поддерживалась равной 300 °С). Вычислите объемную долю водорода в исходной и конечной смеси.

2415. Смесь этилена и паров воды, имеющую плотность по водороду меньше 11, поместили в реактор для синтеза этанола. По окончании реакции, которая прошла с 80,0%-м выходом спирта, давление упало на 26,7% (температура поддерживалась равной 300 °С). Вычислите массовую долю спирта в конечной смеси.

2416. Трехатомный насыщенный спирт массой 6,00 г сожгли в 11,2 л (н. у.) кислорода. После приведения продуктов горения к нормальным условиям их плотность по гелию составила 9,765. Вычислите объем (н. у.) неизрасходованного кислорода.

2417. При нагревании смеси двух предельных первичных спиртов с разветвленным углеродным скелетом в присутствии серной кислоты получена смесь трех органических веществ, относящихся к одному классу соединений, в равном молярном соотношении общей массой 21,6 г, при этом выделилась вода массой 2,7 г. Установите все возможные структурные формулы исходных соединений и рассчитайте массу исходной смеси.

2418. При нагревании смеси двух предельных первичных спиртов неразветвленного строения в присутствии серной кислоты получена смесь трех органических веществ, относящихся к одному классу соединений, общей массой 50,1 г, при этом выделилась вода массой 8,1 г. Количество вещества продукта с самой большой молярной массой в 2,5 раза больше количества вещества каждого из двух других продуктов. Установите структурные формулы продуктов реакции.

2419. При нагревании смеси двух предельных первичных спиртов неразветвленного строения в присутствии серной кислоты получена смесь трех органических веществ, относящихся к одному классу соединений, общей массой 8,08 г, при этом выделилась вода массой 1,08 г. Отношение количеств веществ продуктов в смеси равно 2 : 1 : 3 (в порядке увеличения молярных масс). Установите структурные формулы продуктов реакции.

2420. При нагревании смеси двух предельных первичных спиртов в присутствии серной кислоты получена смесь трех простых эфиров общей массой 2,545 г, при этом выделилась вода массой 0,585 г. Отношение количеств веществ продуктов в смеси равно 3 : 4 : 6 (в порядке убывания молярных масс). Установите все возможные структурные формулы продуктов реакции.

2421. К горячему раствору, массовые доли перманганата калия и серной кислоты в котором составляют по 15,0%, добавили метанол. После нагревания в течение некоторого времени метанол прореагировал полностью, а массовая доля перманганата калия снизилась до 8,00%. К полученному раствору добавили равную массу 15,0%-го раствора гидроксида калия. Рассчитайте массовые доли веществ в образовавшемся растворе.

2422. К горячему раствору, массовые доли перманганата калия и серной кислоты в котором составляют соответственно 10,0 и 20,0%, добавили этанол. После нагревания в течение некоторого времени этанол прореагировал полностью, а массовая доля перманганата калия снизилась до 8,00%. К полученному раствору добавили равную массу 10,0%-го раствора КОН. Рассчитайте массовые доли солей в образовавшемся растворе.

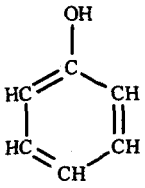
2423. Смесь двух моногалогеналканов с неразветвленным углеродным скелетом, имеющую среднюю молярную массу 119,7 г/моль, обработали избытком спиртового раствора щелочи, получив при этом смесь двух солей общей массой 55,05 г, в которой массовая доля брома составляет 58,13%, массовая доля калия — 35,42%, и смесь углеводородов. Выделенный из смеси углеводород с меньшей температурой кипения пропустили через избыток нейтрального раствора перманганата калия, при этом образовался осадок массой 23,2 г. Установите строение исходных

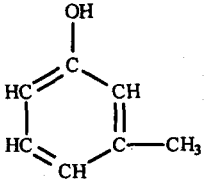
соединений и вычислите их массы, если известно, что при обработке исходной смеси избытком натрия в образующейся смеси углеводородов из каждых 17 атомов углерода — 4 третичных атома.

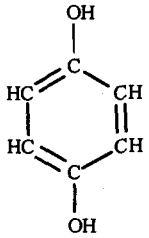
2424. Смесь двух моногалогеналканов с неразветвленным углеродным скелетом, имеющую среднюю молярную массу 150,2 г/моль, обработали избытком спиртового раствора щелочи, получив при этом смесь двух солей общей массой 60,9 г, в которой массовая доля иода составляет 41,71%, массовая доля натрия — 18,88%, и смесь углеводородов. Из этой смеси выделили углеводород с большей температурой кипения, его масса составила 16,8 г. Из этого углеводорода в результате каталитической гидратации, прошедшей с выходом 75,67%, получили 16,8 г спирта. Установите строение исходных соединений и вычислите их массы, если известно, что при обработке исходной смеси избытком натрия в образующейся смеси веществ из каждых девяти атомов углерода только один третичный.

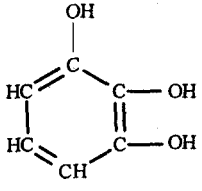
3.6. ФЕНОЛЫ

Фенолами называют гидроксильные производные углеводородов, в которых группа —OH непосредственно связана с атомом углерода ароматического кольца. По числу гидроксильных групп различают фенолы одноатомные, двухатомные, трехатомные и т. д. Приведем примеры разных типов фенолов:


фенол


м-крезол


гидрохинон


пирогаллол

Фенолом называют также простейший представитель класса фенолов.

Фенол — бесцветное кристаллическое вещество, розовеющее на воздухе (вследствие окисления). Температура плавления фенола +41 °С. При 16 °С в 100 мл воды растворяется 6,7 г фенола, однако при температуре выше 66 °С фенол смешивается с водой в любом соотношении. Фенол хорошо растворяется в этаноле, ацетоне и других органических растворителях. Фенол обладает характерным запахом.

В молекуле фенола наглядно проявляется взаимное влияние атомов.

С одной стороны, фенильный радикал усиливает поляризацию связи O—H в гидроксильной группе. Это обусловливает наличие у фенолов более выраженных кислотных свойств. Так, фенол реагирует не только с натрием (и другими щелочными металлами), но и со щелочами:

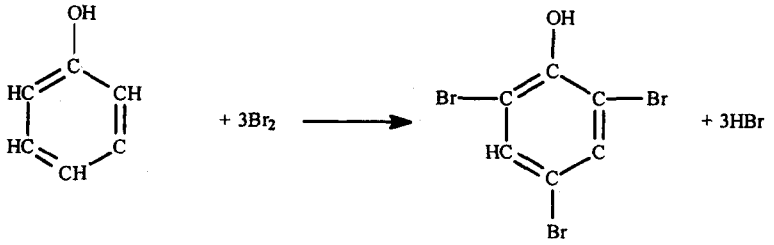
$$2C_6H_5OH + 2Na \rightarrow 2C_6H_5ONa + H_2\uparrow$$

$$C_6H_5OH + NaOH \rightarrow C_6H_5ONa + H_2O$$

Соли фенола — феноляты — могут существовать в водном растворе, хотя и подвергаются гидролизу. Фенол (старое название — карболовая кислота) — более слабая кислота, чем угольная, но более сильная, чем гидрокарбонат-ион. Это подтверждается следующей реакцией:

$$C_6H_5ONa + H_2O + CO_2 \rightarrow C_6H_5OH + NaHCO_3$$

С другой стороны, гидроксильная группа, оказывая влияние на фенильный радикал, облегчает реакции электрофильного замещения, протекающие по кольцу. Фенол бромируется при комнатной температуре бромной водой (3%-й раствор брома в воде):



Гидроксильная группа ориентирует атаку электрофила в *орто-* и *пара*-положение. У некоторых гомологов фенола эти положения могут быть заняты алкильными радикалами. В этом случае образуются не три-, а ди- или монобромпроизводные.

Нитрование фенола с образованием тринитрофенола (пикриновой кислоты) также проходит в более мягких условиях по сравнению с ароматическими углеводородами. Качественная реакция на фенолы — взаимодействие с хлоридом железа (III) в водном растворе. В зависимости от структуры фенола появляются различные оттенки синего и фиолетового цвета.

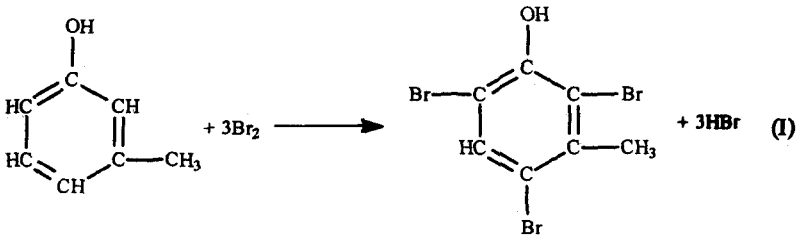
Получают фенол или из хлорбензола по реакции

$$C_6H_5Cl + H_2O \xrightarrow[\text{катализ}]{400\ ^\circ C} C_6H_5OH + HCl$$

или кумольным способом (из бензола через изопропилбензол).

Пример 66. Смесь *м*-крезола и ароматического одноатомного спирта общей массой 8,26 г может вступить в реакцию с 2,73 г калия. При обработке исходной смеси той же массы избытком бромной воды образовалось 6,90 г осадка. Установите строение спирта, если известно, что при обработке исходной смеси перманганатом калия помимо продуктов окисления крезола образуется также кетон.

Решение. С бромной водой реагирует только *м*-крезол:



(I)

Найдем количество вещества трибромкрезола по формуле

$$\nu = m : M;\ \nu\ (\text{трибромкрезол}) = 6{,}90 : 345 = 0{,}02\ \text{моль}.$$

По уравнению реакции (I):

$$\nu\ (\text{крезол}) = \nu\ (\text{трибромкрезол}) = 0{,}02\ \text{моль}.$$

С калием реагируют оба вещества:

$$2CH_3-C_6H_4-OH + 2K \rightarrow 2CH_3-C_6H_4-OK + H_2\uparrow \qquad \text{(II)}$$

$$2C_6H_5-C_nH_{2n}-OH + 2K \rightarrow 2C_6H_5-C_nH_{2n}-OK + H_2\uparrow \qquad \text{(III)}$$

Найдем количество вещества калия, вступившего в обе реакции:

$$\nu(K)_{\text{сумм}} = 2{,}73 : 39 = 0{,}07\ \text{моль}.$$

По уравнению реакции (II):

$$\nu(K)_{\text{вст II}} = \nu\ (\text{крезол}) = 0{,}02\ \text{моль};$$

оставшееся количество вещества калия вступает в реакцию (III):

$$\nu(K)_{\text{вст III}} = 0{,}07 - 0{,}02 = 0{,}05\ \text{моль}.$$

Из уравнения реакции (III) ясно, что

$$\nu\ (\text{спирт}) = \nu(K)_{\text{вст III}} = 0{,}05\ \text{моль}.$$

Найдем массы обоих веществ в исходной смеси по формуле

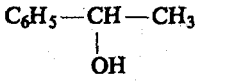
$$m = Mv;\ m\ (\text{крезол}) = 0{,}02 \cdot 108 = 2{,}16\ \text{г};$$

$$m\ (\text{спирт}) = m\ (\text{смеси}) - m\ (\text{крезол}) = 8{,}26 - 2{,}16 = 6{,}1\ \text{г}.$$

Вычислим молярную массу неизвестного спирта:

$$M\ (\text{спирт}) = m\ (\text{спирт}) : \nu\ (\text{спирт});\ M\ (\text{спирт}) = 6{,}1 : 0{,}05 = 122\ \text{г/моль}.$$

Теперь можно вычислить n: $14n + 94 = 122$; $n = 2$. Поскольку при окислении перманганатом калия образовался кетон, спирт — вторичный:



Пример 67. Многоатомный фенол, не имеющий заместителей в кольце, обработали избытком щелочного металла; объем выделившегося газа составил 672 мл. Такую же порцию исходного соединения сожгли, продукты сгорания пропустили через трубку с оксидом фосфора (V). Вышедший из трубки газ смешали с 896 мл водорода. Плотность полученной газовой смеси составила 1,496 г/л (все объемы измерялись при нормальных условиях). Установите состав исходного соединения и предложите возможную структуру.

Решение. Запишем уравнение реакции горения в общем виде:

$$C_6H_6O_x + (7{,}5 - 0{,}5x)\,O_2 \rightarrow 6CO_2 + 3H_2O \qquad (I)$$

Пусть ν (фенол) $= a$ (моль). Поскольку вода поглощается в трубке с P_2O_5, с водородом смешали только углекислый газ.

По уравнению реакции (I)

$$\nu(CO_2) = 6\nu\ (\text{фенол}) = 6a.$$

Вычислим количество вещества добавленного водорода по формуле

$$\nu(H_2) = V(H_2) : V_m;\ \nu(H_2) = 0{,}896 : 22{,}4 = 0{,}04\ \text{моль}.$$

Средняя молярная масса полученной газовой смеси равна $\rho V_m = 1{,}496 \cdot 22{,}4 = 33{,}51$ г/моль.

Воспользуемся формулой для расчета средней молярной массы через количества веществ газов:

$$M_{ср} = \frac{M(H_2)\nu(H_2) + M(CO_2)\nu(CO_2)}{\nu(H_2) + \nu(CO_2)};\quad \frac{2 \cdot 0{,}04 + 44 \cdot 6a}{6a + 0{,}04} = 33{,}51,$$

откуда $a = 0{,}02$.

Запишем в общем виде уравнение реакции, протекающей между многоатомным фенолом и натрием:

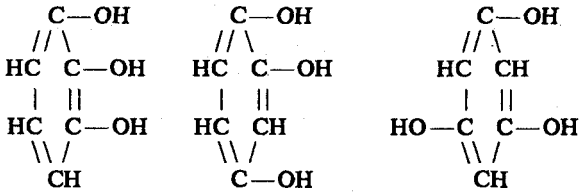
$$C_6H_6O_x + xNa \rightarrow C_6H_{6-x}O_xNa_x + 0{,}5xH_2\uparrow \qquad (II)$$

Количество вещества водорода, выделившегося в этой реакции, равно:

$$\nu(H_2) = 0{,}672 : 22{,}4 = 0{,}03\ \text{моль}.$$

В соответствии со стехиометрией реакции (II): $\nu(H_2) = 0{,}5x\nu$ (фенол); т. е. $0{,}03 = 0{,}5x \cdot 0{,}02$, откуда $x = 3$.

Фенол имеет одну из нижеприведенных структур:



ВОПРОСЫ, УПРАЖНЕНИЯ И ЗАДАЧИ

2425. Какие соединения называют фенолами?

2426. Приведите пример использования соединения, содержащего фенильный радикал, в медицине.

2427. С каким веществом вступают в реакцию и фенолы, и спирты? Приведите уравнение реакции в общем для обоих классов соединений виде.

2428. Какое свойство фенола отличает его от спиртов? Приведите уравнение реакции.

2429. Приведите пример реакции замещения, протекающей между фенолом (по ароматическому кольцу) и: а) простым веществом; б) сложным веществом.

2430. Какую реакцию используют для качественного определения фенола?

2431. Напишите уравнения реакций: а) пирокатехина с калием; б) *о*-крезола с гидроксидом натрия.

2432. Напишите уравнения реакций с бромной водой: а) *о*-крезола; б) *м*-крезола.

2433. Напишите уравнение реакции *о*-дихлорбензола со щелочью (при нагревании).

2434. В молекуле гидрохинона (двухатомного фенола) две гидроксильные группы находятся в *пара*-положении. Напишите уравнение реакции мононатриевой соли гидрохинона с углекислым газом в водном растворе.

2435. Ксиленолами называются одноатомные фенолы, содержащие в ароматическом кольце две метильные группы. Напишите уравнения реакций всех ксиленолов с бромной водой.

2436. Напишите структурные формулы всех фенолов, имеющих в составе: а) одну ОН-группу и четыре метильных радикала; б) одну ОН-группу и два C_4H_9-радикала неразветвленного строения; в) две ОН-группы и один C_4H_9-радикал разветвленного строения; г) три ОН-группы и один C_3H_7-радикал.

2437. Среди перечисленных соединений выберите изомеры: диметилфенол, бензойная кислота, дигидроксибензол, бензиловый спирт, метиловый эфир бензойной кислоты, метилфениловый эфир, метилфенол.

2438. К перечисленным веществам: глицерин, бензол, фенол, толуол добавьте два, в результате должны получиться три пары ближайших гомологов. Напишите формулы всех веществ и укажите пары гомологов.

2439. Соединение А вступает в реакцию с 3 моль натрия, но с 2 моль гидроксида натрия. При действии на вещество А хлорида железа возникает фиолетовое окрашивание. Установите простейшую возможную формулу вещества А и приведите формулы двух его изомеров.

2440. Соединение А вступает в реакцию с 2 моль натрия, но с 1 моль гидроксида натрия. Вещество А вступает в реакции гидрирования и реагирует с бромной водой. Установите простейшую возможную формулу, отвечающую веществу А, и напишите уравнения реакций.

2441. Из ацетилена получите трибромфенол без использования других органических веществ. Напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания.

2442. Из метана получите тринитрофенол без использования других органических веществ. Напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания.

2443. Из какого вещества в результате последовательно протекающих реакций дегидрирования — циклизации и двух реакций замещения можно получить нитрохлорбензол, не используя другие органические вещества?

2444. В четырех пробирках находятся бензол, крезол, глицерин, гексан. Опишите идентификацию веществ.

2445. Составьте уравнения реакций по схеме: алкан → арен → галогенпроизводное углеводорода → гомолог фенола.

2446. Составьте уравнения реакций по схеме

$$C_nH_{2n-5}Cl \rightarrow C_nH_{2n-6} \rightarrow C_nH_{2n-7}Cl \rightarrow C_nH_{2n-6}O$$

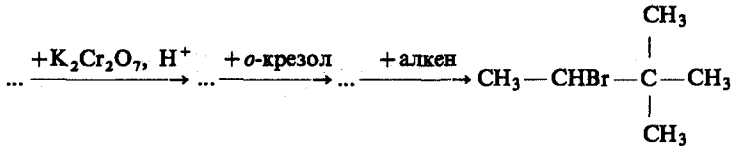
2447. Составьте уравнения реакций по схеме

$$C_6H_5ONa \xrightarrow{+CO_2,\ H_2O} \ldots \xrightarrow{+HNO_3} \ldots$$

2448. Составьте уравнения реакций по схеме

$$\ldots \xrightarrow{+Cl_2} \ldots \xrightarrow{+\text{фенол}} \ldots \xrightarrow{+\text{спирт}} CH_3-CH(CH_3)-CH_2Br$$

2449. Составьте уравнения реакций по схеме:



2450. К порции фенола добавили его гомолог, при этом масса возросла в 5,79 раза, а число атомов кислорода увеличилось в 4 раза. Установите состав гомолога фенола, вычислите его массовую долю в смеси. Приведите структурные формулы всех изомерных фенолов, отвечающих условию задачи и имеющих в молекуле по 4 первичных атома углерода.

2451. Фенол массой 32,9 г обработали избытком раствора азотной кислоты. Масса образовавшейся пикриновой кислоты составила 70,0 г. Вычислите выход, с которым прошла реакция нитрования.

2452. При 15 °С в 100 г воды растворяется 8,20 г фенола. Какой объем водорода (при н. у.) выделится при обработке 50,0 г насыщенного водного раствора фенола избытком натрия?

2453. Через 50 г раствора фенолята натрия пропустили избыток углекислого газа. Сухой остаток, полученный после удаления воды, обработали смесью хлороводородной и бромоводородной кислот, при этом выделилось 193 мл (н. у.) газа. Вычислите массовую долю фенолята натрия в исходном растворе.

2454. Смесь стирола и фенола может присоединить 1,8 г воды и вступить во взаимодействие с 64,0 г 12,5%-го раствора гидроксида натрия. Вычислите массы веществ в исходной смеси.

2455. Смесь стирола и фенола общей массой 5,00 г может вступить во взаимодействие с 14,4 г брома. Вычислите массовые доли веществ в исходной смеси.

2456. Раствор *о*-крезола в этиленгликоле общей массой 61,2 г обработали избытком калия, в результате чего выделилось 20,7 л (н. у.) газа. Вычислите массовую долю *о*-крезола в исходном растворе.

2457. При взаимодействии 5,18 г смеси фенола и резорцина с избытком натрия выделился водород объемом 0,957 л (100 кПа, 15 °С). Вычислите массовые доли веществ в исходной смеси.

2458. При обработке 4,18 г смеси бензилового спирта, крезола и фенола избытком калия выделилось 448 мл (н. у.) газа. Вычислите массовую долю фенола в исходной смеси.

2459. Смесь двух изомеров, один из которых является ароматическим спиртом, а другой — гомологом фенола, при обработке избытком натрия образует 560 мл (н. у.) газа. Такая же смесь такой же массы может вступить во взаимодействие с 2 мл

раствора гидроксида натрия с концентрацией 10 моль/л. Вычислите массовые доли веществ в исходной смеси.

2460. При действии на раствор фенола в бензоле избытком брома в отсутствие катализатора выпало 99,3 г осадка. При сгорании такой же массы исходного раствора выделилось 67,2 л углекислого газа (н. у.). Вычислите массовые доли веществ в исходном растворе.

2461. При действии на смесь крезола и толуола избытка натрия выделилось 224 мл газа (н. у.). Газ, выделившийся при полном сгорании такой же массы исходной смеси, пропустили через избыток известковой воды, при этом образовалось 30 г осадка. Установите состав исходной смеси (по массе).

2462. Смесь пропанола-2, *о*-крезола и стирола в реакции с натрием выделяет 7,28 л (н. у.) газа. Такая же смесь такой же массы может вступить в реакцию в водном растворе с 6,00 г гидроксида натрия или 0,650 моль брома. Вычислите количество вещества атомов углерода в исходной смеси.

2463. Смесь 2,4-диметилфенола и 3,5-диметилфенола общей массой 7,32 г обработали избытком бромной воды. Масса выпавшего осадка оказалась равной 15,22 г. Вычислите молярное соотношение изомеров в исходной смеси.

2464. Смесь фенола и его гомолога, имеющего только один углеводородный радикал (в *орто*-положении к ОН-группе), может вступить в реакцию с 0,120 моль брома (в водном растворе). При обработке натрием такой же массы исходной смеси выделяется 0,560 л водорода (н. у.). Вычислите молярное соотношение веществ в исходной смеси.

2465. Образец крезола массой 16,2 г обработали избытком бромной воды. Масса выпавшего осадка оказалась равной 39,9 г. Установите возможное строение крезола.

2466. Объем водорода, выделяющийся при обработке одного из гомологов фенола избытком натрия, в 16 раз меньше объема углекислого газа, образующегося при его сгорании (при одинаковых условиях). 0,1 моль этого гомолога фенола реагирует с 0,1 моль брома, находящегося в водном растворе. Приведите две возможные структурные формулы анализируемого вещества.

2467. В реакцию с 0,1 моль брома, находящегося в водном растворе, в реакцию вступает 0,05 моль гомолога фенола. Объем паров воды, образующихся при сгорании гомолога фенола, в 10 раз больше объема водорода, образующегося при обработке этого вещества избытком калия. Приведите три возможные структурные формулы анализируемого вещества.

2468. Смесь стирола и одного из гомологов фенола, содержащего один радикал в *мета*-положении, общей массой 0,660 г, вступает в реакцию с 50,0 г 3,20%-го раствора брома в CCl_4. При

обработке этой смеси такой же массы избытком натрия выделяется 22,4 мл водорода (н. у.). Установите строение гомолога фенола.

2469. Объем углекислого газа, образующегося при сгорании многоатомного фенола, в 4 раза больше объема водорода, выделяющегося при взаимодействии такой же массы многоатомного фенола с избытком калия. Установите возможное строение фенола (приведите три формулы), если известно, что он не имеет углеводородных радикалов в кольце. Объемы газов измерялись при одинаковых условиях.

2470. При сжигании гомолога фенола, имеющего только два углеводородных радикала (оба в *орто*-положении к ОН-группе) образуется 18,0 л углекислого газа (н. у.). Такая же масса этого гомолога была обработана избытком раствора брома. Масса образовавшегося продукта оказалась на 7,054 г больше массы исходного соединения. Установите строение гомолога.

2471. Порцию многоатомного фенола, не имеющего заместителей в кольце, разделили на равные части. Одну обработали избытком щелочного металла, а другую сожгли. Водород, выделившийся в первом случае, смешали с углекислым газом, образовавшимся во втором случае. Средняя молярная масса полученной газовой смеси оказалась равной 33,5 г/моль. Приведите три структурные формулы исходного соединения, отвечающие условию.

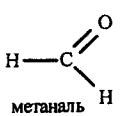
2472. При сгорании смеси пикриновой кислоты и нитробензола выделилось 174,8 кДж теплоты. Обезвоженные продукты сгорания пропустили через раствор KOH, объем газов при этом сократился в 7,2 раза. Вычислите, какое количество теплоты выделится при сгорании пикриновой кислоты, выделенной из исходной смеси той же массы, если известно, что при сгорании 1,00 г нитробензола выделяется теплоты в 2,248 раза больше, чем при сгорании 1,00 г пикриновой кислоты.

2473. При сжигании в избытке кислорода раствора фенола в этаноле выделяется 83,87 кДж теплоты. Продукты сгорания пропустили последовательно через трубку с оксидом фосфора (V) и склянку с раствором KOH. Масса трубки увеличилась на 2,97 г, а масса склянки на 5,72 г. Какое количество теплоты выделится при сгорании 1,00 г этанола, если известно, что при сгорании 1,00 моль фенола выделяется 3064 кДж?

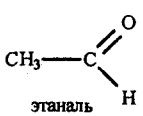
3.7. АЛЬДЕГИДЫ И КЕТОНЫ

Альдегиды **и** ***кетоны*** **относятся к карбонильным соединениям. Они содержат в своем составе карбонильную группу** $-C\overset{O}{\overset{\parallel}{\backslash}}$.

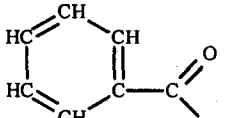
В альдегидах атом углерода карбонильной группы обязательно связан с одним атомом водорода (в родоначальнике гомологического ряда предельных альдегидов — метанале — с двумя атомами). В кетонах атом углерода карбонильной группы связан с двумя одинаковыми или разными углеводородными радикалами. Ниже приведены примеры альдегидов и кетонов:



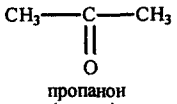
метаналь



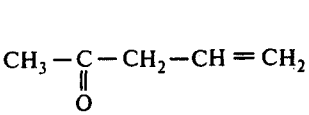
этаналь



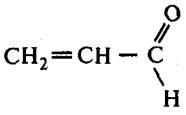
бензальдегид



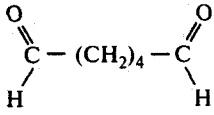
пропанон (ацетон)



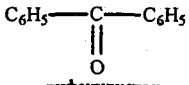
пентен-4-он-2



пропеналь (акролеин)



гександиаль



дифенилкетон (бензофенон)

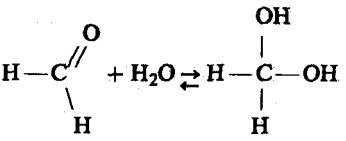
В названиях альдегидов имеется суффикс ***-аль***, **а кетонов** ***-он***. **Иногда сохраняются тривиальные названия (ацетон, акролеин и др.) или названия с использованием основ «альдегид» (ацетальдегид для этаналя, масляный альдегид для бутаналя и т. д.) или «кетон» (*метилэтилкетон для бутанона и др.*).**

Температуры плавления и кипения альдегидов и кетонов в целом ниже температур плавления и кипения соответствующих спиртов (с тем же числом атомов углерода). Это объясняется отсутствием образования ассоциатов альдегидов и кетонов за счет водородных связей. Формальдегид при обычных условиях газ ($t_{кип} = -21$ °C), температура кипения ацетальдегида приблизительно совпадает с комнатной (+20 °C), далее в гомологическом ряду следуют жидкости (температуры кипения повышаются, од-

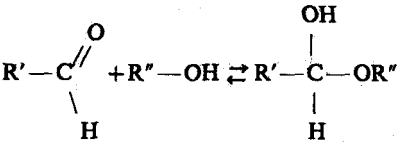
нако температуры плавления этой закономерности не подчиняются; имеется тенденция к расширению температурного диапазона существования жидкой фазы; от 140 °С у этаналя до 195 °С у пентаналя). Высшие альдегиды — твердые вещества. Альдегиды имеют резкий запах. По мере увеличения относительной молекулярной массы запах ослабевает, растворимость в воде уменьшается. Первые члены гомологических рядов ненасыщенных альдегидов (акролеин), ароматических альдегидов (бензальдегид), предельных кетонов (ацетон) — жидкости. Акролеин и ацетон хорошо растворяются в воде, бензальдегид — очень плохо. Акролеин имеет резкий удушающий запах, бензальдегид — запах горького миндаля; запах ацетона многим хорошо известен, так как он является широко используемым растворителем. Жидкие альдегиды и кетоны легче воды.

В карбонильной группе существует двойная связь между атомом кислорода и атомом углерода (атомные орбитали углерода в sp^2-гибридизации). Связь поляризована, электронная плотность смещена к атому кислорода. Реакционным центром в карбонильных соединениях является атом углерода с частичным положительным зарядом. Это обусловливает возможность протекания реакций нуклеофильного присоединения (A_N). Альдегиды и кетоны близки по химическим свойствам, однако кетоны в целом менее реакционно-способные соединения.

Рассмотрим химические свойства альдегидов на примере формальдегида и ацетальдегида. К реакциям нуклеофильного присоединения относится, например, реакция гидратации:

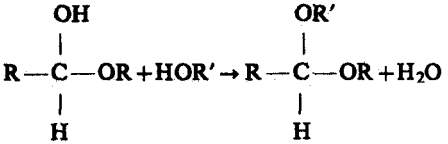


Формальдегид в водном растворе гидратирован практически полностью, ацетальдегид — только наполовину, а ацетон находится в негидратированном состоянии. Гидраты устойчивы только в водном растворе; при попытке выделить их в индивидуальном виде они разрушаются. Кроме воды, альдегиды могут присоединять спирты, при этом образуются полуацетали:



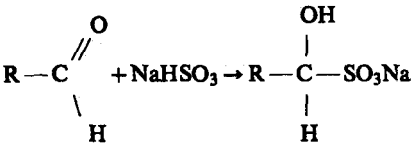
Полуацетали неустойчивы и большинство из них нельзя выделить из раствора. Они распадаются в кислой и щелочной средах.

При избытке спирта полуацетали в кислой среде переходят в ацетали:

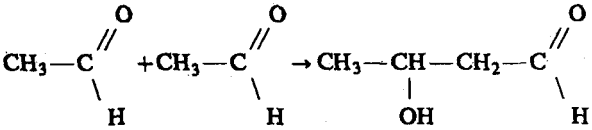


Ацетали более устойчивы по сравнению с полуацеталями. Они гидролизуются только в кислой среде. Реакция образования ацеталя протекает по механизму S_N. Реакции образования полуацеталей и ацеталей очень важны для понимания химии углеводов.

Альдегиды и кетоны присоединяют гидросульфит натрия, например:

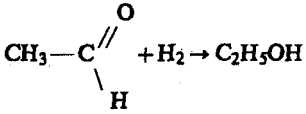


Для альдегидов и кетонов характерны также реакции конденсации, в ходе которых происходит усложнение углеродного скелета за счет образования новых С—С-связей. В этом случае одна молекула альдегида взаимодействует с другой молекулой альдегида:

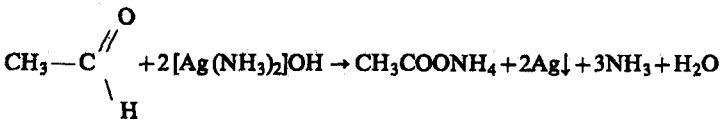


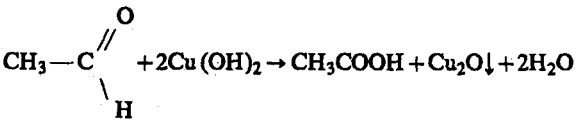
В результате реакции образуется альдоль (*альдегидоалкоголь*); реакции такого типа называют альдольной конденсацией; она проходит в относительно мягких условиях в присутствии катализаторов — кислот или щелочей. Реакция обратима, обратный процесс называют альдольным расщеплением.

Альдегиды — вещества с двойственной окислительно-восстановительной функцией. Они занимают промежуточное положение по степени окисленности атома углерода между спиртами и кислотами. В соответствии с этим альдегиды могут восстанавливаться до спиртов и окисляться до кислот. Альдегиды восстанавливаются до первичных спиртов на никелевом или платиновом катализаторе при повышенном давлении:



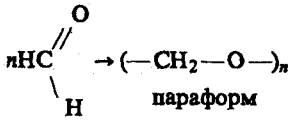
Альдегиды легко окисляются даже не очень сильными окислителями в водных растворах. Реакция окисления гидроксидом диамминсеребра (реакция серебряного зеркала) используется для обнаружения альдегидов (на стенках пробирки появляется блестящий налет металлического серебра). Качественной реакцией на альдегиды является также взаимодействие с гидроксидом меди (II) при слабом нагревании (образуется красный осадок Cu_2O):



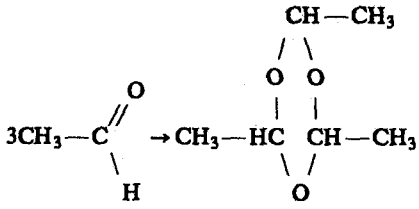


Метаналь окисляется до оксида углерода (IV) (в реакции серебряного зеркала образуется карбонат аммония). Альдегиды окисляются и более сильными окислителями ($KMnO_4$, $K_2Cr_2O_7$). Кетоны не вступают в реакции с гидроксидом диамминсеребра (I) и гидроксидом меди (II), их окисление проходит в более жестких условиях с разрывом связей С—С и образованием карбоновых кислот.

Низшие альдегиды способны полимеризоваться (в присутствии кислот), при этом образуются полимеры как линейного, так и циклического строения, например:

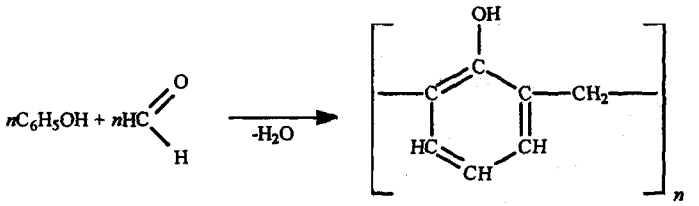


параформ

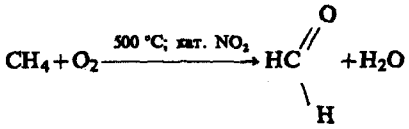


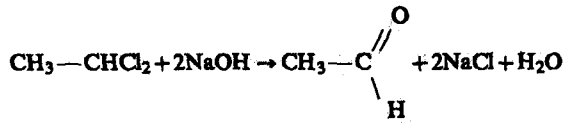
паральдегид

Альдегиды вступают также в реакции поликонденсации; характерный пример — реакция с фенолом, в ходе которой образуется фенолоформальдегидная смола:



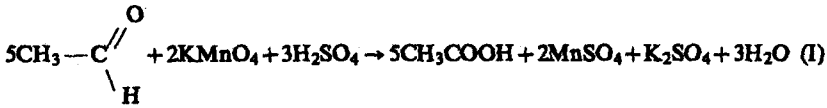
Карбонильные соединения получают окислением углеводородов (метаналь — окислением метана; этаналь — окислением этилена), окислением спиртов, гидратацией алкинов, гидролизом геминальных дигалогеналканов (термин «геминальный» означает, что заместители находятся у одного атома углерода). Приведем примеры таких реакций:





Пример 68. Для восстановления 30,4 г смеси ацетальдегида и предельного кетона с одной карбонильной группой требуется 11,2 л (н. у.) водорода. Исходная смесь той же массы может вступить в реакцию с 80 ммоль перманганата калия в кислом растворе (без разрыва связей С—С). Установите возможное строение кетона.

Решение. Перманганатом калия окисляется альдегид:



По уравнению реакции:

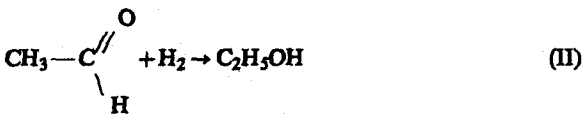
$$\nu\,(\text{ацетальдегид}) = {}^{5}/_{2}\,\nu(KMnO_4) = 2{,}5 \cdot 0{,}08 = 0{,}2 \text{ моль};$$

следовательно,

$$m\,(\text{ацетальдегид}) = M\,(\text{ацетальдегид})\,\nu\,(\text{ацетальдегид});$$

$$m\,(\text{ацетальдегид}) = 44 \cdot 0{,}2 = 8{,}8 \text{ г}.$$

С водородом реагируют оба соединения:



$$R-\underset{\underset{O}{\|}}{C}-R' + H_2 \rightarrow R-\underset{\underset{OH}{|}}{CH}-R' \qquad \text{(III)}$$

Количество вещества водорода, выделившегося в реакциях (II) и (III), рассчитаем по формуле

$$\nu(H_2) = V(H_2) : V_m;\ \nu(H_2) = 11{,}2 : 22{,}4 = 0{,}5 \text{ моль}.$$

По уравнению реакции (II) $\nu(H_2) = \nu$ (ацетальдегид) $= 0{,}2$ моль; следовательно, в реакции (III) выделилось $0{,}5 - 0{,}2 = 0{,}3$ моль водорода и ν (кетон) $= 0{,}3$ моль.

Вычислим массу и затем молярную массу неизвестного кетона:

$$m(\text{кетон}) = m(\text{смесь}) - m(\text{ацетальдегид}) = 30{,}4 - 8{,}8 = 21{,}6 \text{ г};$$

$$M(\text{кетон}) = 21{,}6 : 0{,}3 = 72 \text{ г/моль}.$$

Молекулярная формула кетона $C_nH_{2n}O$; найдем n: $14n + 16 = 72$; $n = 4$; т. е. искомое соединение — метилэтилкетон.

Пример 69. Смесь формальдегида и водорода при 200 °С и 200 кПа имеет плотность 0,577 г/л. После пропускания этой смеси через никелевый катализатор и установления равновесия плотность газовой смеси возросла на 30,5% (при тех же условиях). Вычислите выход (%) продукта реакции.

Решение. Воспользовавшись уравнением Менделеева — Клапейрона, вычислим среднюю молярную массу исходной смеси:

$$M_{ср} = \frac{\rho RT}{p};\ M_{ср} = \frac{0{,}577 \cdot 8{,}31 \cdot 473}{200} = 11{,}34 \text{ г/моль}.$$

Формальдегид в реакции с водородом восстанавливается до метанола:

$$H-\overset{\overset{O}{//}}{\underset{\underset{H}{\diagdown}}{C}} + H_2 \rightarrow CH_3OH$$

Пусть $\varphi(CH_2O) = x$. Составим уравнение, связывая среднюю молярную массу и молярные (объемные) доли компонентов: $30x + 2(1 - x) = 11{,}34$; откуда $x = 0{,}3333$, т. е. количество вещества водорода в 2 раза превышало количество вещества формальдегида в исходной смеси: $\nu(CH_2O) = a$ (моль), $\nu(H_2) = 2a$.

Обозначим выход реакции η и примем, что $\eta = y$. С учетом выхода реакции $\nu(CH_3OH)_{обр} = \nu(CH_2O)_{вст} = \nu(H_2)_{вст} = ay$, так как все стехиометрические коэффициенты в реакции равны 1.

Выразим количества веществ не вступивших в реакцию реагентов:

$$\nu(CH_2O)_{ост} = a - ay;\ \nu(H_2)_{ост} = 2a - ay.$$

По условию задачи средняя молярная масса газовой смеси после установления равновесия возросла в 1,305 раза: $M_{ср}' = 1{,}305 M_{ср} = 1{,}305 \cdot 11{,}34 = 14{,}8$ г/моль.

При 200 °С все вещества в реакционной смеси будут находиться в газообразном состоянии; их суммарное количество вещества будет равно:

$$\nu(\text{смесь})_{итог} = \nu(CH_2O)_{ост} + \nu(H_2)_{ост} + \nu(CH_3OH)_{обр};$$

$$\nu(\text{смесь})_{итог} = a - ay + 2a - ay + ay = a(3 - y).$$

Обратимся еще раз к формуле, связывающей среднюю молярную массу и молярные (объемные) доли компонентов:

$$\frac{M(CH_2O)\,\nu(CH_2O)+M(H_2)\,\nu(H_2)+M(CH_3OH)\,\nu(CH_3OH)}{\nu(CH_2O)+\nu(H_2)+\nu(CH_3OH)}=M_{ср}.$$

Составим по этой формуле уравнение:

$$\frac{30a(1-y)+2a(2-y)+32ay}{a(3-y)}=14{,}8;\ \text{откуда}\ y=0{,}703,$$

следовательно, выход реакции равен 70,3%.

ВОПРОСЫ, УПРАЖНЕНИЯ И ЗАДАЧИ

2474. Какие соединения называются альдегидами?

2475. Покажите, как смещается электронная плотность в молекуле формальдегида.

2476. Как изменяются физические свойства альдегидов при увеличении числа углеродных атомов?

2477. Объясните, почему первый член гомологического ряда одноатомных спиртов — жидкость, а первый член гомологического ряда альдегидов — газ.

2478. Приведите пример реакции синтеза альдегида из алкена, алкана, алкина.

2479. Приведите пример реакции присоединения для метаналя.

2480. Приведите уравнение реакции взаимодействия любого триметилбутаналя с аммиачным раствором оксида серебра.

2481. Приведите уравнение реакции взаимодействия этилпентаналя с гидроксидом меди (II).

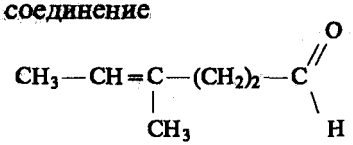
2482. Что представляет собой формалин?

2483. При хранении формалина из раствора выпадает белый осадок, представляющий собой полимер формальдегида — параформ. Составьте схему образования параформа.

2484. Ацетальдегид в присутствии следовых количеств кислоты превращается в циклический тример — паральдегид. Составьте схему образования паральдегида.

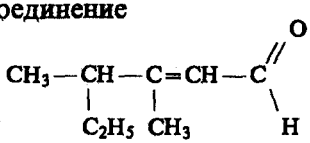
2485. Какой из спиртов мог образоваться при гидрировании альдегида: метилпропанол-2 или диметилпропанол? Приведите обоснованный ответ и уравнение реакции.

2486. Назовите соединение



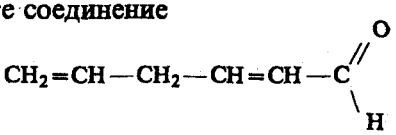
Приведите изомер этого соединения, не существующий в форме *цис*- и *транс*-изомеров.

2487. Назовите соединение



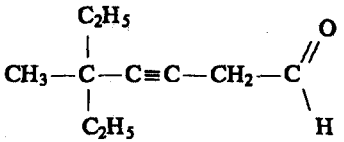
Приведите изомер этого соединения, относящийся к другому классу органических соединений.

2488. Назовите соединение



Приведите изомер этого соединения, имеющий большее число пространственных изомеров.

2489. Назовите соединение



Приведите изомер этого соединения, имеющий замкнутую углеродную цепь.

2490. Напишите структурные формулы всех альдегидов состава: а) $C_5H_{10}O$; б) C_5H_8O.

2491. Напишите структурную формулу альдегидоспирта, являющегося производным бутана, и всех его изомеров, содержащих карбонильную группу.

2492. Приведите формулы простейших (т. е. имеющих минимально возможное число атомов углерода) веществ с разветвленным углеродным скелетом: а) альдегида; б) кетона; в) альдегидоспирта; г) кетоноспирта.

2493. Приведите формулу простейшего альдегида, содержащего четвертичный атом углерода, а также формулу изомера этого соединения, не являющегося альдегидом.

2494. Приведите формулы двух веществ состава $C_nH_{2n-2}O_2$, имеющих одинаковое значение n и только по одной альдегидной группе.

2495. Приведите формулу карбонильного соединения, содержащего только два атома углерода с sp^2-гибридными орбиталями.

2496. Напишите структурные формулы всех диальдегидов с четырьмя атомами углерода в молекуле.

2497. К перечисленным веществам: триметилфенол, бутаналь, изопропилфенол, этанол, бутенол добавьте одно, в результате должно получиться три пары изомеров. Напишите формулы всех веществ и укажите пары изомеров.

2498. Среди перечисленных ниже веществ найдите такие, которые могут иметь изомеры: пропан, пропаналь, циклопропан, глицерин. Напишите для каждого из выбранных веществ по одному изомеру.

2499. Напишите уравнение реакции поликонденсации, протекающей между *п*-крезолом и ацетальдегидом.

2500. Напишите уравнение реакции взаимодействия с перманганатом калия в кислой среде при нагревании: а) 4-гидроксипентаналя; б) 5-гидроксипентаналя; в) пентандиаля.

2501*. Напишите уравнение реакции альдольной конденсации для: а) 2-метилбутаналя; б) 3-метилбутаналя.

2502*. Напишите уравнения реакций, протекающих между диметилпропаналем и: а) этанолом в присутствии хлороводорода; б) этаналем в щелочной среде.

2503*. Какие вещества можно получить, имея в распоряжении фенол, ацетальдегид, диметилбензол и необходимые катализаторы?

2504. Напишите уравнения реакций:

а) Метаналь + $KMnO_4$ (подкисленный раствор) $\xrightarrow{t}$ X + ..

б) X + $Ca(OH)_2$ (избыток) →

2505. Напишите уравнения реакций:

а) Ацетальдегид + $KMnO_4$ (подкисленный раствор) $\xrightarrow{t}$ X + ...

б) X + $NaHCO_3$ →

2506. Напишите уравнения реакций:

а) Бутаналь + $K_2Cr_2O_7$ (подкисленный раствор) $\xrightarrow{t}$ X + ...

б) X + $Mg(OH)_2$ →

2507. Напишите уравнения реакций:

а) Метаналь + $K_2Cr_2O_7$ (подкисленный раствор) $\xrightarrow{t}$ X + ...

б) X + $CaCO_3$ (суспензия в воде) →

2508. В трех цилиндрах находятся ацетилен, углекислый газ, формальдегид. Опишите идентификацию веществ.

2509*. Предложите оптимальный путь синтеза 1,1-диэтоксиэтана (диэтилацеталя уксусного альдегида) из карбида кальция без использования других углеродсодержащих соединений. Напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания.

2510*. Синтезируйте из бензола и необходимых неорганических соединений гидросульфитное производное бензальдегида. Напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания.

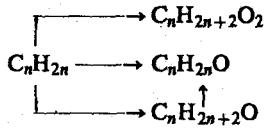
2511*. Синтезируйте из гексена-2 и необходимых неорганических соединений гидросульфитное производное бутилметилкетона. Напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания.

2512*. Из ацетона, не используя другие углеродсодержащие вещества, в три стадии получите: 1,2-дибромпропан; 2,3-диметилбутан. Напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания.

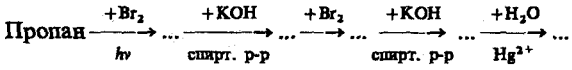
2513. Составьте уравнения (с использованием структурных формул, на конкретном примере) и подберите необходимые условия для осуществления реакций по схеме:

$$C_nH_{2n+1}Br \rightarrow ? \rightarrow C_nH_{2n}Br_2 \rightarrow ? \rightarrow C_nH_{2n}O$$

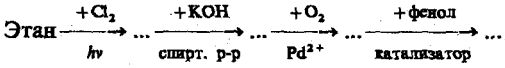
2514. Составьте уравнения (с использованием структурных формул, на конкретном примере) и подберите необходимые условия для осуществления реакций по схеме:



2515. Составьте уравнения реакций по схеме (над стрелкой указаны реагенты, под стрелкой — условия; большинство реакций протекает при повышенной температуре):



2516. Составьте уравнения реакций по схеме (над стрелкой указаны реагенты, под стрелкой — условия; некоторые реакции протекают при повышенной температуре — укажите, какие):



2517. Составьте уравнения реакций по схеме (над стрелкой указаны реагенты):



Укажите условия, необходимые для осуществления реакций.

2518. В трех пробирках без надписей находятся бутаналь, бутанол и дихлорбутан. Опишите, как можно провести идентификацию этих веществ. Приведите уравнения реакций.

2519. В пробирке находится смесь гептана, гептанола и гептаналя. Опишите, как можно провести разделение этих веществ. Приведите уравнения реакций.

2520. Из пропаналя получите 1-бромпропан, 2-бромпропан, 1,2-дибромпропан (без использования других органических веществ). Напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания.

2521. Из ацетальдегида без использования углеродсодержащих соединений получите в индивидуальном виде четыре разных монохлоралкана. Напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания.

2522. Предложите способ получения 1,2,4-трибромбутана из ацетальдегида без использования других органических веществ. Напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания.

2523. Предложите способ получения из ацетальдегида (без использования других органических веществ) двух полимеров с разным числом атомов углерода в элементарном звене. Напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания.

2524. Предложите способ получения диизопропилового эфира из пропаналя без использования других органических веществ. Напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания.

2525. Предложите способ получения 2-хлорэтанола из этаналя без использования других органических веществ. Напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания.

2526. Из ацетальдегида получите 1,1-дихлорэтан без использования других органических веществ. Напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания.

2527. Из этаналя получите 1,4-дибромбутен-2 без использования других органических веществ. Напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания.

2528. Предложите способ получения бутандиаля из карбида кальция без использования других органических веществ. Напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания.

2529. Вычислите массу ацетата аммония, которая образуется при обработке 150 г 20,0%-го водного раствора ацетальдегида избытком аммиачного раствора оксида серебра.

2530. Водный раствор формальдегида массой 10,0 г обработали избытком аммиачного раствора оксида серебра, масса образовавшегося при этом серебра составила 43,2 г. Вычислите массовую долю формальдегида в исходном растворе.

2531. Вычислите область допустимых значений для общей массы смеси спиртов, которая может образоваться при восстановлении 3,70 г смеси метаналя и этаналя.

2532. Аммиачный раствор оксида серебра обработали избытком формалина. По окончании реакции раствор обработали избытком соляной кислоты, при этом выделилось 560 мл газа (н. у.). Вычислите массу оксида серебра, которая была использована для приготовления его аммиачного раствора.

2533. Водный раствор массой 56,8 г, содержащий смесь ацетальдегида и формальдегида, обработали избытком натрия, при этом выделилось 28 л (н. у.) водорода. При обработке исходного раствора той же массы оксидом серебра (в аммиачном растворе) выделилось 86,4 г серебра. Вычислите массовые доли альдегидов в растворе.

2534. Для синтеза ацетальдегида смесь этилена и кислорода, в которой соотношение компонентов равно стехиометрическому, пропустили через раствор хлорида палладия. Реакция прошла с выходом 93,8%. Во сколько раз уменьшится объем смеси газов после пропускания ее через избыток аммиачного раствора оксида серебра?

2535. С каким выходом (%) прошла реакция синтеза уксусного альдегида из этилена (н. у.) и стехиометрического количества кислорода, если после пропускания реакционной смеси через избыток аммиачного раствора оксида серебра ее объем уменьшился в 6 раз?

2536. При сжигании смеси двух гомологов мононенасыщенных альдегидов образуется 3,248 л (н. у.) углекислого газа и 2,16 г воды. Вычислите массу осадка, образующегося при взаимодействии такого же образца смеси альдегидов с избытком аммиачного раствора гидроксида серебра.

2537. Смесь метаналя и этаналя общей массой 22,9 г обработали избытком дихромата калия в кислой среде. Объем выделившегося углекислого газа составил 5,60 л (н. у.). Вычислите, какая масса смеси спиртов образуется при количественном восстановлении той же смеси альдегидов той же массы.

2538. Смесь двух изомеров, один из которых является альдегидом, а другой — непредельным спиртом, может вступить во взаимодействие с 0,896 л (н. у.) хлороводорода. Такая же смесь такой же массы при обработке аммиачным раствором оксида серебра (I) образует 2,16 г серебра. Вычислите массовые доли веществ в исходной смеси.

2539. Смесь двух изомеров, один из которых является непредельным двухатомным спиртом, а другой — кетоноспиртом, может вступить во взаимодействие с 0,975 г калия. Такая же смесь такой же массы может вступить при определенных условиях с 0,18 г воды. Вычислите массовые доли веществ в исходной смеси.

2540. Смесь гексаналя, 2-метилбутанола-2, 3,3-диметилбутаналя и пентанола-2 при обработке избытком оксида серебра в аммиачном растворе образует 43,2 г осадка, а при обработке

избытком калия — 3,69 л (17 °С, 98 кПа) газа. Вычислите массу исходной смеси.

2541. Смесь массой 26,8 г двух соединений, не содержащих других функциональных групп, кроме одной альдегидной, и различающихся по составу только на один атом углерода, обработали избытком гидроксида меди (II) при нагревании, при этом образовался осадок массой 72,0 г. Вычислите объем водорода (н. у.), необходимый для получения из исходной смеси альдегидов смеси спиртов, являющихся ближайшими гомологами, общей массой 10,0 г.

2542. Смешали равные объемы пропаналя, пропанола-2 и толуола, плотности которых соответственно равны 0,807, 0,785, 0,867 г/мл. При обработке одной трети такой смеси избытком аммиачного раствора оксида серебра образуется 2,16 г серебра. Вычислите, какой объем кислорода (н. у.) требуется для сжигания оставшейся части смеси.

2543. При 30 °С и 100 кПа к 10,0 л смеси формальдегида и ацетальдегида добавили 8,00 л водорода, после чего новую смесь пропустили над никелевым катализатором. Известно, что обе реакции прошли с выходом 75,0%. Какая масса калия может вступить в реакцию со смесью продуктов реакции?

2544*. Имеется смесь ацетона и циклогексанона, в которой массовая доля кислорода составляет 21,162%, а количество вещества атомов водорода равно 3,8 моль. Вычислите массу осадка, который образуется при добавлении такой смеси к насыщенному раствору гидросульфита натрия.

2545*. Имеется смесь бензальдегида и пентен-4-аля, в которой массовая доля кислорода составляет 16,096%, а количество вещества атомов углерода равно 3,2 моль. Вычислите объем пропанола-1 (пл. 0,81 г/мл), способного вступить в реакцию с этой смесью веществ в присутствии сухого хлороводорода.

2546. При обработке предельного ациклического альдегида с разветвленным углеродным скелетом избытком аммиачного раствора оксида серебра масса образующейся соли составила 48,61% от массы образовавшегося серебра. Установите строение альдегида.

2547. Для восстановления 1,75 г альдегида, содержащего одну карбонильную группу и одну связь C=C, требуется 1,226 л водорода (25 °С, нормальное давление). Установите возможную структуру альдегида.

2548. Продукты сгорания 1,80 г предельного альдегида с разветвленным углеродным скелетом пропустили через 250 мл раствора гидроксида калия с концентрацией 0,600 моль/л. В результате этого молярные концентрации солей в образовавшемся растворе сравнялись. Установите формулу альдегида.

2549. При восстановлении смеси альдегида и кетона общей массой 4,06 г образуется 4,20 г смеси изомерных спиртов. Установите строение веществ, входивших в состав смеси.

2550. При окислении 2,00 г диальдегида избытком аммиачного раствора оксида серебра образовалось 8,64 г осадка. Установите строение альдегида, если известно, что в его молекуле имеется четвертичный атом углерода.

2551. Соединение, относящееся к гомологическому ряду с общей формулой $C_nH_{2n-2}O_2$, при окислении избытком аммиачного раствора оксида серебра образует 43,2 г осадка. Та же порция исходного соединения может вступить в реакцию с 8,96 л (н. у.) водорода в присутствии катализатора. Продукт этой реакции при сгорании образует 35,2 г углекислого газа. Установите состав исходного соединения и предложите его возможное строение (две структурные формулы).

2552. Эквимолярную смесь альдегида и двухатомного спирта с одинаковым числом атомов углерода в молекулах обработали избытком натрия, при этом выделилось 400 мг водорода. При обработке той же смеси той же массы избытком аммиачного раствора оксида серебра образовалось 18,2 г аммонийной соли карбоновой кислоты. Установите возможное строение спирта, входящего в состав смеси (приведите две возможные формулы).

2553. Эквимолярную смесь насыщенного диальдегида и предельного одноатомного спирта с одинаковым числом атомов углерода в молекулах обработали избытком аммиачного раствора оксида серебра, при этом образовалось 64,8 г серебра. При обработке той же смеси той же массы избытком натрия было получено 12,3 г алкоголята. Установите строение диальдегида, входящего в состав смеси.

2554. Смесь ненасыщенного (с одной двойной связью) одноатомного спирта и насыщенного альдегида может вступить в реакцию максимально с 11,2 л водорода (н. у.); масса единственного образующегося при этом продукта реакции равна 30,0 г. Установите строение веществ, входящих в состав смеси.

2555. Предельный одноатомный спирт частично окислили в кетон. Массовая доля кислорода в смеси двух органических соединений равна 27,35%. Вычислите, какая часть спирта не окислилась.

2556*. Одноатомный спирт частично окислили в альдегид. Массовая доля кислорода в смеси двух органических соединений общей массой 49,2 г равна 16,26%. При добавлении к этой смеси избытка гидросульфита натрия выпало 80,8 г осадка, в котором массовая доля серы равна 15,84%. Установите возможное строение исходного соединения и вычислите, какая часть спирта (%) окислилась.

2557*. Одноатомный спирт окислили в кетон дихроматом калия в присутствии серной кислоты; органический слой нейтрализовали насыщенным раствором гидрокарбоната натрия, промыли водой и высушили, после чего его масса составила 44,4 г, а массовая доля кислорода в нем 16,216%. При взаимодействии смеси остатка исходного спирта и образовавшегося кетона с насыщенным раствором гидросульфита натрия выпало 60,6 г осадка. Осадок отделили, органический слой обработали уксусным ангидридом в присутствии серной кислоты. После окончания реакции, промывания и высушивания его масса увеличилась на 6,30 г. Предложите одну из возможных структур исходного спирта и вычислите выход (%) реакции окисления.

2558*. Одноатомный спирт окислили в кетон дихроматом калия в присутствии серной кислоты; органический слой нейтрализовали насыщенным раствором гидрокарбоната натрия, промыли водой и высушили, после чего его масса составила 36,25 г, а массовая доля кислорода в нем 13,24%. При взаимодействии смеси остатка исходного спирта и образовавшегося кетона с насыщенным раствором гидросульфита натрия выпало 44,8 г осадка. Осадок отделили, органический слой обработали бромоводородом. После окончания реакции, промывания и высушивания его масса увеличилась на 6,30 г. Предложите одну из возможных структур исходного спирта и вычислите выход (%) реакции окисления.

2559. Смесь формальдегида и водорода общим объемом 15,0 л с плотностью 0,4018 г/л (н. у.) пропустили над платиновым катализатором. Реакция прошла с выходом 60,0%. Продукт реакции охладили и обработали натрием массой 2,60 г. Вычислите объем выделившегося газа.

2560. Смесь формальдегида и водорода, в которой массовая доля водорода в 9 раз меньше массовой доли альдегида, пропустили через катализатор. Реакция гидрирования прошла с выходом 55,0%. Вычислите относительную плотность по воздуху полученного газа (или смеси газов) при следующих температурах: а) −50 °С; б) 0 °С; в) 100 °С (температуры кипения равны: метанола 64,5 °С; формальдегида −21 °С).

2561. Смесь водорода и паров ацетона с относительной плотностью по гелию, равной 4,00, пропустили над платиновым катализатором при температуре около 200 °С. Реакция восстановления прошла с выходом 50,0%. Вычислите плотность по воздуху газовой смеси на выходе из реактора при той же температуре.

2562. Смесь ацетальдегида и паров ацетона с относительной молекулярной массой 47,5 смешали с двукратным объемом водорода, после чего пропустили над платиновым катализатором. Обе реакции прошли с выходом 65,0%. Вычислите плотность

полученной газовой смеси на выходе из реактора при нормальном давлении и температуре, равной: а) 30 °С; б) 230 °С.

2563. Смесь ацетальдегида и водорода, в которой объемная доля водорода равна 80,0%, при 200 °С пропустили через никелевый катализатор. После установления равновесия и охлаждения до 30 °С относительная плотность газовой смеси по гелию составила 1,25. Вычислите выход (%) продукта реакции.

2564. Пары пропаналя и избыток водорода вступили в реакцию гидрирования, которая прошла с выходом 50,0%. Плотность газовой смеси по воздуху при 250 °С составила 0,426. Вычислите массовую долю водорода в исходной смеси.

2565. Для проведения реакции поликонденсации получили альдегид и гомолог фенола. Альдегид получили каталитическим окислением кислородом порции предельного одноатомного спирта, содержащей 38,4 г кислорода. В полученной смеси органических веществ общей массой 106,2 г масса кислорода осталась прежней. Гомолог фенола получили из порции *п*-хлортолуола, содержащей 10 моль вторичных атомов углерода, путем нагревания со стехиометрическим количеством воды при 500 °С в присутствии SiO_2 (катализатор). После установления равновесия суммарная масса неорганических веществ оказалась в 3,17 раза меньше суммарной массы органических веществ. Альдегид и гомолог фенола нагрели в присутствии кислоты, при этом выделилось 27,74 г воды. Вычислите среднюю молярную массу продукта поликонденсации (не имеющего спиртовых групп), прошедшей с выходом 90%.

2566. К смеси двух предельных ациклических альдегидов добавили трехкратный по количеству вещества избыток водорода; образовавшуюся смесь массой 37,8 г нагрели над платиновым катализатором при повышенном давлении, реакции прошли с выходом не более 90%. Полученную смесь спиртов общей массой 28 г нагрели с концентрированной серной кислотой, в результате чего образовалось 4,5 г воды и три гомолога; в реакцию не вступило 3,6 г смеси спиртов. Количество вещества гомолога с наибольшей молярной массой оказалось в 2 раза меньше количеств веществ каждого из двух других гомологов. Вычислите минимально возможные значения выходов гидрирования.

3.8. КАРБОНОВЫЕ КИСЛОТЫ

К ***карбоновым кислотам*** относятся соединения, в составе которых имеется карбоксильная группа $-C\overset{O}{\underset{OH}{\diagup\!\!\diagdown}}$

Связь H—O поляризована в большей степени, чем в фенолах. Карбоновые кислоты относятся к слабым кислотам, но они сильнее, чем фенолы. Существует большое число гомологических рядов карбоновых кислот, что предопределено разнообразием строения углеродного скелета, наличием заместителей и дополнительных функциональных групп. Кислоты, в которых карбоксильная группа связана с насыщенным углеводородным радикалом ($C_nH_{2n+1}COOH$), образуют гомологический ряд предельных одноосновных кислот, начинающийся с муравьиной кислоты. Для кислот этого ряда и их солей обычно сохраняются тривиальные, исторически сложившиеся названия (в скобках здесь и ниже указаны названия солей и эфиров кислот):

$HCOOH$ — муравьиная (формиаты)

CH_3COOH — уксусная (ацетаты)

C_2H_5COOH — пропионовая (пропионаты)

$CH_3(CH_2)_2COOH$ — масляная (бутираты)

$CH_3(CH_2)_4COOH$ — капроновая (гексаноаты)

$CH_3(CH_2)_{14}COOH$ — пальмитиновая (пальмитаты)

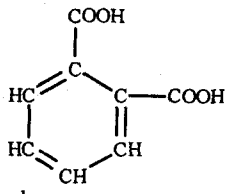
$CH_3(CH_2)_{16}COOH$ — стеариновая (стеараты)

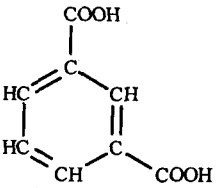
Приведем несколько наиболее важных гомологических рядов карбоновых кислот (родоначальники и наиболее важные представители).

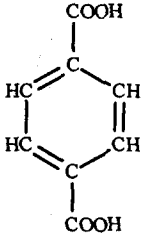
Двухосновные предельные кислоты: $HCOO—COOH$ — щавелевая (оксалаты), $HCOO—CH_2—COOH$ — малоновая (малонаты), $HCOO—CH_2—CH_2—COOH$ — янтарная (сукцинаты).

Одноосновные непредельные кислоты (с одной связью C=C): $CH_2=CH—COOH$ акриловая (акрилаты), $CH_2=C(CH_3)—COOH$ метакриловая (метакрилаты), $CH_3—(CH_2)_7—CH=CH—(CH_2)_7—COOH$, или сокращенно $C_{17}H_{33}COOH$ — олеиновая (олеаты). К ненасыщенным одноосновным кислотам относятся также *линолевая* кислота $C_{17}H_{31}COOH$ (две связи C=C) и линоленовая $C_{17}H_{29}COOH$ (три связи C=C).

Простейшей ароматической кислотой является бензойная кислота C_6H_5COOH (бензоаты). Простейшая двухосновная ароматическая кислота существует в виде трех изомеров:

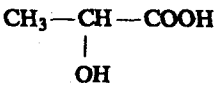

фталевая кислота

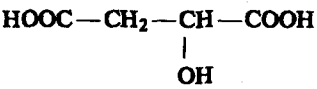

изофталевая кислота


терефталевая кислота

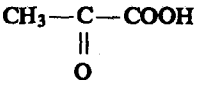
Приведем также формулы важнейших представителей гетерофункциональных (т. е. содержащих несколько разных функциональных групп) кислот, широко распространенных в природе:

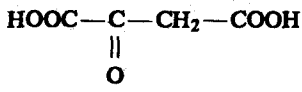
гидроксикислоты (дополнительная гидроксильная группа)


молочная кислота (лактаты)


яблочная кислота (малаты)

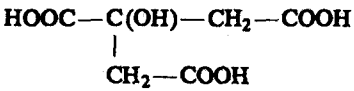
кетокислоты (дополнительная карбонильная группа)


пировиноградная кислота (пируваты)

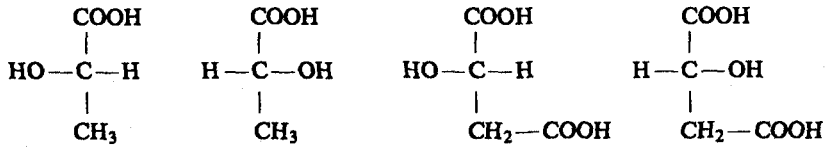

щавелевоуксусная кислота (оксалоацетаты)

Молочная и пировиноградная кислоты — одноосновные; они связаны между собой окислительно-восстановительным равновесием (вторичная спиртовая группа окисляется в кетогруппу; кетогруппа восстанавливается до вторичной спиртовой группы). Яблочная и щавелевоуксусная кислоты — двухосновные; они также связаны между собой окислительно-восстановительным равновесием.

Представитель трехосновных гидроксикислот — лимонная кислота (соли — цитраты):

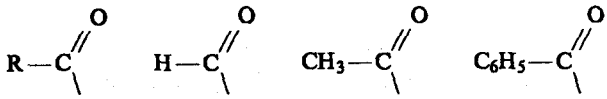


В молекулах молочной и яблочной кислот имеется асимметрический атом углерода — атом, связанный с четырьмя разными заместителями. Для соединений с асимметрическим атомом характерно существование особого вида пространственной изомерии — энантиомерии. Молекулы энантиомеров относятся друг к другу как предмет и несовместимое с ним зеркальное изображение. Асимметрический атом одного из энантиомеров имеет R-конфигурацию, другого — S-конфигурацию:



(S)-молочная кислота | (R)-молочная кислота | (S)-яблочная кислота | (R)-яблочная кислота

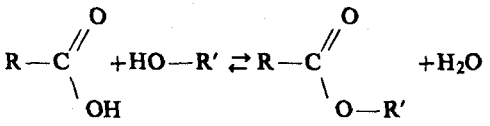
Радикал, образующийся при отщеплении от молекулы кислоты гидроксильной группы, называется ацилом:



ацил | формил | ацетил | бензоил

Карбоновые кислоты при обычных условиях либо жидкости: муравьиная ($t_{пл}$ = 8 °С), уксусная ($t_{пл}$ = 17 °С), акриловая ($t_{пл}$ = 12 °С), пировиноградная ($t_{пл}$ = 14 °С), олеиновая ($t_{пл}$ = от 13 до 16 °С), либо — твердые вещества: стеариновая ($t_{пл} \approx 70$ °С), бензойная ($t_{пл}$ = 122 °С), щавелевая ($t_{пл}$ = 190 °С). Молочная кислота плавится в диапазоне от 18 до 30 °С, поэтому при комнатной температуре представляет собой или бесцветные кристаллы, или сиропообразную жидкость. Жидкие кислоты бесцветные, многие имеют резкий запах. Кислоты кипят при температуре больше 100 °С (муравьиная кислота, $t_{кип}$ = 101 °С, уксусная кислота $t_{кип}$ = 118 °С). Некоторые кислоты при кипении разлагаются (пировиноградная, молочная и др.). Муравьиная, уксусная, акриловая, молочная и пировиноградная кислоты смешиваются с водой в любых соотношениях. Щавелевая кислота растворяется хорошо (при 15 °С 9,5 г в 100 г воды); бензойная кислота — плохо (при 20 °С 0,29 г в 100 г воды); стеариновая и олеиновая кислоты в воде практически не растворяются. Почти все кислоты растворяются в органических растворителях, например в диэтиловом эфире. Все перечисленные кислоты, кроме стеариновой, хорошо растворяются в этаноле.

Для карбоновых кислот характерны общие реакции кислот (с металлами, основными оксидами, основаниями, солями). Специфическим свойством карбоновых кислот является их способность вступать в реакции со спиртами с образованием сложных эфиров:



Эта реакция называется реакцией *этерификации*. Она обратима, протекает при нагревании в присутствии кислоты (концентрированная H_2SO_4). Серная кислота одновременно оказывает каталитическое действие и смещает равновесие в сторону продуктов за счет связывания воды.

Уксусная кислота и ее гомологи с большим числом атомов углерода могут вступать в реакции замещения по углеводородному радикалу, например:

$$C_2H_5COOH + Cl_2 \rightarrow CH_3—CHCl—COOH + HCl$$

Замещение проходит по α-атому углерода. Катализатор реакции — красный фосфор.

Муравьиная кислота обладает рядом свойств, отличающих ее от других членов гомологического ряда. При ее нагревании с концентрированной серной кислотой выделяется оксид углерода (II):

$$HCOOH \rightarrow CO + H_2O$$

Муравьиная кислота легко окисляется. Она дает, например, реакцию серебряного зеркала:

$$HCOOH + 2[Ag(NH_3)_2]OH \rightarrow (NH_4)_2CO_3 + 2Ag\downarrow + 2NH_3 + H_2O$$

Ненасыщенные кислоты вступают в реакции электрофильного присоединения (A_E). Присоединение галогеноводородов к акриловой кислоте идет против правила Марковникова, например:

$$CH_2=CH—COOH + HBr \rightarrow BrCH_2—CH_2—COOH$$

Акриловая кислота легко полимеризуется.

Существует несколько способов получения карбоновых кислот. Предельные одноосновные кислоты получают каталитическим окислением алканов, например:

$$2C_4H_{10} + 5O_2 \rightarrow 4CH_3COOH + 2H_2O$$

$$2CH_4 + 3O_2 \rightarrow 2HCOOH + 2H_2O$$

Кислоты получают также окислением альдегидов и спиртов. Уксусную кислоту получают каталитическим формилированием метанола по реакции

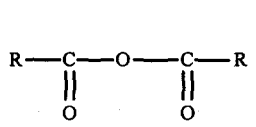
$$CH_3OH + CO \rightarrow CH_3COOH$$

Муравьиную кислоту получают из оксида углерода (II):

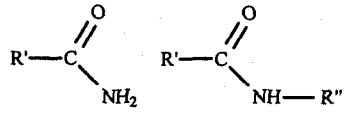
$$CO + NaOH \rightarrow HCOONa \text{ (нагревание при высоком давлении)}$$

$$HCOONa + H_2SO_4 \rightarrow HCOOH + NaHSO_4 \text{ (на холоду)}$$

Путем замены группы —OH в карбоновых кислотах на другие заместители образуются функциональные производные кислот. К ним относятся, например, сложные эфиры: группа —OH замещена на алкоксильную группу —OR. К другим функциональным производным кислот относятся ангидриды и амиды:



ангидрид



амиды

Ангидриды — производные карбоновых кислот, в молекулах которых гидроксильная группа замещена на кислотный остаток кислоты. Амиды — производные карбоновых кислот, в молекулах которых гидроксильная группа замещена на аминогруппу (выше приведены формулы незамещенного амида — первичного, монозамещенного — вторичного, дизамещенного — третичного). Все белки — вторичные полиамиды. Мочевина (карбамид) — полный амид угольной кислоты $NH_2—\overset{\overset{O}{\|}}{C}—NH_2$.

Ангидриды легко гидролизуются с образованием кислот. Амиды подвергаются гидролизу с трудом (при нагревании в присутствии сильных кислот). В молекулах амидов электронная плотность на атоме азота понижена за счет ее частичного смещения к атому углерода. В силу этого, несмотря на наличие неподеленной пары электронов у атома азота, амиды практически не проявляют основных свойств (т. е. не протонируются).

Пример 70. Смесь муравьиной кислоты, формальдегида и метанола в реакции с избытком натрия образует 3,36 л (н. у.) водорода. При обработке образовавшейся смеси продуктов разбавленным раствором щелочи масса щелочи в растворе увеличивается на 8,00 г. В реакции исходной смеси такой же массы с избытком гидроксида диамминсеребра образуется 0,280 моль серебра. Вычислите массовую долю формальдегида в исходной смеси.

Решение. Из компонентов смеси в реакцию с натрием вступают муравьиная кислота и метанол:

$$2CH_3OH + 2Na \rightarrow 2CH_3ONa + H_2\uparrow \quad (I)$$

$$2HCOOH + 2Na \rightarrow 2HCOONa + H_2\uparrow \quad (II)$$

Вычислим количество вещества водорода, выделяющегося в реакциях (I) и (II) по формуле

$$\nu(H_2) = V(H_2) : V_m;\ \nu(H_2) = 3{,}36 : 22{,}4 = 0{,}15 \text{ моль}.$$

При обработке образовавшейся смеси продуктов (метоксида натрия CH_3ONa и формиата натрия HCOONa) разбавленным раствором щелочи протекает реакция гидролиза:

$$CH_3ONa + H_2O \rightarrow CH_3OH + NaOH \quad (III)$$

Масса щелочи в растворе увеличивается за счет протекания этой реакции, образуется при этом $\nu(NaOH) = m(NaOH) : M(NaOH)$; $\nu(NaOH) = 8 : 40 = 0{,}2$ моль. Из уравнения реакции (III) следует, что $\nu(CH_3OH) = \nu(NaOH) = 0{,}2$ моль.

Таким образом, при образовании метоксида натрия в реакции (I) выделилось водорода:

$$\nu(H_2)_I = 0{,}5\nu(CH_3OH) = 0{,}5 \cdot 0{,}2 = 0{,}1 \text{ моль},$$

а в реакции (II)

$$\nu(H_2)_{II} = 0{,}15 - 0{,}1 = 0{,}05 \text{ моль};$$

следовательно,

$$\nu(HCOOH) = 2\nu(H_2)_{II} = 2 \cdot 0{,}5 = 0{,}1 \text{ моль}.$$

С гидроксидом диамминсеребра реагируют формальдегид и муравьиная кислота:

$$HCOOH + 2[Ag(NH_3)_2]OH \rightarrow (NH_4)_2CO_3 + 2Ag\downarrow + 2NH_3\uparrow + H_2O \quad (IV)$$

$$HCOH + 4[Ag(NH_3)_2]OH \rightarrow (NH_4)_2CO_3 + 4Ag\downarrow + 6NH_3\uparrow + 2H_2O \quad (V)$$

В реакции (IV) образуется серебра

$$\nu(Ag)_{IV} = 2\nu(HCOOH) = 2 \cdot 0{,}1 = 0{,}2 \text{ моль},$$

следовательно, в реакции (V) выделяется серебра $\nu(Ag)_V = 0{,}28 - 0{,}2 = 0{,}08$ моль.

По уравнению реакции (V):

$$\nu(HCOH) = 0{,}25\nu(Ag)_V = 0{,}25 \cdot 0{,}08 = 0{,}02 \text{ моль}.$$

Вычислим массы всех компонентов исходной смеси по формуле

$$M(X) = m(X) : \nu(X);\ m(HCOOH) = 46 \cdot 0{,}1 = 4{,}6 \text{ г};$$

$$m(HCOH) = 30 \cdot 0{,}02 = 0{,}6 \text{ г};\ m(CH_3OH) = 32 \cdot 0{,}2 = 6{,}4 \text{ г}.$$

Рассчитаем массу исходной смеси:

$$m(\text{смеси}) = m(HCOOH) + m(HCOH) + m(CH_3OH) = 4{,}6 + 0{,}6 + 6{,}4 = 11{,}6 \text{ г}.$$

Массовую долю формальдегида найдем по формуле

$$\omega(HCOH) = m(HCOH) : m(\text{смесь});\ \omega(HCOH) = 0{,}6 : 11{,}6 = 0{,}0517, \text{ или } 5{,}17\%.$$

Пример 71. Для нейтрализации смеси двух соседних членов гомологического ряда двухосновных предельных карбоновых кислот потребовалось 333 мл раствора гидроксида бария с концентрацией 0,0900 моль/л, при этом образовалась смесь солей общей массой 7,31 г. Установите, какие вещества входили в состав смеси и в каком количестве.

Решение. Выразим формулы ближайших гомологов двухосновных предельных карбоновых кислот: $C_nH_{2n}(COOH)_2$ (с меньшей молярной массой) и $C_{n+1}H_{2n+2}(COOH)_2$ (с большей молярной массой). Запишем уравнения реакций нейтрализации:

$$C_nH_{2n}(COOH)_2 + Ba(OH)_2 \rightarrow C_nH_{2n}(COO)_2Ba + 2H_2O \quad (I)$$

$$C_{n+1}H_{2n+2}(COOH)_2 + Ba(OH)_2 \rightarrow C_{n+1}H_{2n+2}(COO)_2Ba + 2H_2O \quad (II)$$

Пусть $\nu(C_nH_{2n}(COOH)_2) = x$ (моль); $\nu(C_{n+1}H_{2n+2}(COOH)_2) = y$ (моль).

Рассчитаем также количество вещества щелочи, необходимое для нейтрализации смеси кислот:

$$\nu(Ba(OH)_2) = c(Ba(OH)_2)V(Ba(OH)_2\text{-р-р});$$

$$\nu(Ba(OH)_2) = 0{,}09 \cdot 0{,}333 = 0{,}03 \text{ моль}.$$

В соответствии со стехиометрическими соотношениями приведенных реакций

$$\nu(Ba(OH)_2)_I = \nu(C_nH_{2n}(COO)_2Ba) = \nu(C_nH_{2n}(COOH)_2) = x;$$

$$\nu(Ba(OH)_2)_{II} = \nu(C_{n+1}H_{2n+2}(COO)_2Ba) = \nu(C_{n+1}H_{2n+2}(COOH)_2 = y.$$

Выразим массы образующихся бариевых солей по формуле

$$m(X) = M(X)\nu(X);\ m(C_nH_{2n}(COO)_2Ba) = (14n - 225)x;$$

$$m(C_{n+1}H_{2n+2}(COO)_2Ba) = (14n + 239)y.$$

Составим систему уравнений:

$$\begin{cases} x + y = 0{,}03, \\ (14n + 225)x + (14n + 239)y = 7{,}31. \end{cases}$$

Выразим n: $n = 1{,}33 - 33{,}3y$. Поскольку n — целое число, а y — положительное число, причем $y < 0{,}03$; единственное возможное значение $n = 1$, тогда $x = 0{,}02$; $y = 0{,}01$.

Таким образом, количество вещества малоновой кислоты $HOOC-CH_2-COOH$ равно 0,02 моль, а янтарной кислоты $HOOC-CH_2-CH_2-COOH$ — 0,01 моль.

Пример 72. При обработке избытком калия смеси пропионовой кислоты и двухосновной гидроксикислоты общей массой 85,5 г выделяется 19,6 л водорода (н. у.). Для нейтрализации той же смеси той же массы требуется 250 мл раствора гидроксида калия с концентрацией 5,00 моль/л. Установите возможное строение кислоты (приведите формулы двух изомеров).

Решение. Представим формулу двухосновной гидроксикислоты в виде $HOOC-CH(OH)-(CH_2)_n-COOH$. Запишем уравнения реакций взаимодействия обеих кислот с натрием:

$$2C_2H_5COOH + 2K \rightarrow 2C_2H_5COOK + H_2\uparrow \quad (I)$$

$$2HOOC-\underset{\underset{OH}{|}}{CH}-(CH_2)_n-COOH+6K \rightarrow$$

$$\rightarrow 2KOOC-\underset{\underset{OK}{|}}{CH}-(CH_2)_n-COOK+3H_2\uparrow \quad (II)$$

Пусть $\nu(C_2H_5COOH)=x$ моль; ν (гидроксикислота X)$=y$ (моль). Количество вещества выделившегося водорода рассчитаем по формуле

$$\nu(H_2)=V(H_2):V_m;\ \nu(H_2)=19{,}6:22{,}4=0{,}875 \text{ моль}.$$

В соответствии со стехиометрическими соотношениями в реакциях (I) и (II):

$$\nu(H_2)_I=0{,}5\nu(C_2H_5COOH)=0{,}5x;$$

$$\nu(H_2)_{II}=1{,}5\nu \text{ (гидроксикислота)}=1{,}5y.$$

Составим первое уравнение: $0{,}5x+1{,}5y=0{,}875$.
Обе кислоты будут вступать в реакцию нейтрализации:

$$C_2H_5COOH+KOH \rightarrow C_2H_5COOK+H_2O \quad (III)$$

$$HOOC-\underset{\underset{OH}{|}}{CH}-(CH_2)_n-COOH+2KOH \rightarrow$$

$$\rightarrow KOOC-\underset{\underset{OH}{|}}{CH}-(CH_2)_n-COOK+2H_2O \quad (IV)$$

Количество вещества израсходованной щелочи найдем по формуле

$$\nu(KOH)=c(KOH)V(KOH,\text{р-р});\ \nu(KOH)=5\cdot 0{,}25=1{,}25 \text{ моль}.$$

В соответствии со стехиометрическими соотношениями в реакциях (III) и (IV):

$$\nu(KOH)_{III}=\nu(C_2H_5COOH)=x \text{ (моль)};$$

$$\nu(KOH)_{IV}=2\nu \text{ (гидроксикислота)}=y \text{ (моль)}.$$

Составим второе уравнение: $x+2y=1{,}25$.
Решая систему уравнений

$$\begin{cases} 0{,}5x+1{,}5y=0{,}875, \\ x+2y=1{,}25, \end{cases}$$

получаем: $x=0{,}25$ моль; $y=0{,}5$ моль.
Вычислим массу пропионовой кислоты

$$m(C_2H_5COOH)=M(C_2H_5COOH)\nu(C_2H_5COOH);$$

$$m(C_2H_5COOH)=74\cdot 0{,}25=18{,}5 \text{ г}.$$

Тогда масса гидроксикислоты составит

$$m(\text{гидроксикислота}) = m(\text{смесь}) - m(C_2H_5COOH);$$

$$m(\text{гидроксикислота}) = 85{,}5 - 18{,}5 = 67 \text{ г}.$$

Рассчитаем молярную массу гидроксикислоты:

$$M(\text{гидроксикислота}) = m(\text{гидроксикислота}) : \nu(\text{гидроксикислота});$$

$$M(\text{гидроксикислота}) = 67 : 0{,}5 = 134 \text{ г/моль}.$$

Молекулярная формула гидроксикислоты $C_mH_{2m-2}O_5$; составим уравнение:

$$14m - 2 + 80 = 134;\ m = 4.$$

Возможные формулы гидроксикислот:

$$HOOC-CH(OH)-CH_2-COOH \text{ и } HOOC-CH(CH_2OH)-COOH$$

ВОПРОСЫ, УПРАЖНЕНИЯ И ЗАДАЧИ

2567. Покажите, как смещается электронная плотность в карбоксильной группе.

2568. Как изменяются физические свойства карбоновых кислот с увеличением числа атомов углерода в молекуле?

2569. Приведите уравнения реакций, протекающих при нагревании муравьиной кислоты со следующими веществами: а) оксидом магния; б) концентрированной серной кислотой; в) карбонатом кальция; г) аммиачным раствором оксида серебра; д) хлорной водой. Какие из этих реакций являются окислительно-восстановительными?

2570. Будет ли уксусная кислота вступать во взаимодействие со следующими веществами: а) гидроксидом меди (II); б) оксидом меди (I); в) оксидом железа (II, III); г) гидроксидом железа (III); д) сульфидом меди (II); е) сульфидом железа (II)? Напишите уравнения протекающих реакций в ионном виде.

2571. Приведите пример вещества, вступающего в реакцию как с уксусной кислотой, так и с фосфорной кислотой.

2572. Приведите пример реакции окисления карбоновой кислоты в водном растворе.

2573. Приведите уравнение реакции взаимодействия между стеаратом натрия и серной кислотой.

2574. Приведите уравнение реакции получения пальмитиновой кислоты из алкана; из другой кислоты; из альдегида; из соли.

2575. Приведите по одному примеру взаимодействия карбоновой кислоты с неметаллом; металлом.

2576. Приведите уравнение реакции бензойной кислоты с этиленгликолем.

2577*. Напишите уравнение реакции гидролиза амида пропионовой кислоты.

2578. Объясните, почему монохлоруксусная кислота является более сильной кислотой, чем уксусная кислота.

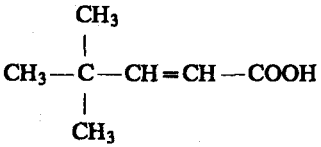
2579. Приведите формулы двух стереоизомеров олеиновой кислоты.

2580*. Напишите простейшую формулу кислоты, не имеющей *цис-транс*-изомеров и вступающую в реакции S_E и A_E.

2581. Приведите примеры использования солей уксусной кислоты.

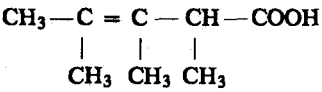
2582. Какие карбоновые кислоты и их соли используются в медицине?

2583. Назовите соединение:



Приведите изомер этого соединения, имеющий в молекуле третичный атом углерода.

2584. Назовите соединение



Приведите изомер этого соединения, имеющий в молекуле минимальное число первичных атомов углерода.

2585. Среди веществ, формулы которых приведены ниже, найдите изомеры и гомологи:

а) $CH_3-(CH_2)_3-COOH$; б) $CH_3-CH_2-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-(CH_2)_3-CH_2OH$;

в) $HOCH_2-\underset{\underset{OH}{|}}{CH}-CH=CH_2$; г) $HOCH_2-CH=CH-CH_2-CH_2OH$;

д) $CH_3-CH_2-CH_2-COOH$; е) $HOOC-COOH$; ж) $CH_3-\underset{\underset{CH_2OH}{|}}{\overset{\overset{H-C=O}{|}}{C}}-CH_3$;

з) $HOOC-CH_2-CH_2-CH_2COOH$; и) $HO-CH_2-CH_2-CH_2-OH$.

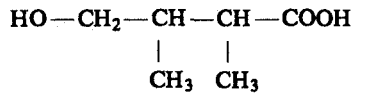
2586. Напишите формулы всех карбоновых кислот состава $C_5H_{10}O_2$.

2587. Напишите формулы всех циклических карбоновых кислот состава $C_6H_{10}O_2$.

2588. Напишите формулы всех изомерных бромкапроновых кислот.

2589. Напишите формулы всех изомерных дихлормасляных кислот, трихлормасляных кислот, бромхлормасляных кислот.

2590. Для соединения, имеющего формулу



приведите: а) изомер, не имеющий в составе карбоксильной группы; б) изомер, не имеющий в составе гидроксильной группы.

2591. Янтарная кислота имеет формулу $HOOC—(CH_2)_2—COOH$. Приведите для нее формулы двух гомологов: а) имеющего на 8 e^- больше; б) имеющего на 16 e^- меньше.

2592. Напишите формулы всех насыщенных нециклических монокарбоновых кислот, имеющих в молекуле 14 атомов водорода и четвертичный атом углерода.

2593. Напишите формулы всех монохлорпроизводных насыщенных нециклических монокарбоновых кислот, имеющих в молекуле пять атомов углерода и разветвленный углеродный скелет.

2594. Напишите формулы всех кислот состава $C_6H_{12}O_2$, имеющих в молекуле три первичных атома углерода.

2595. Одноосновная кислота, производная пентана, содержит одну двойную и одну тройную связи C—C. Напишите структурные формулы всех ее изомеров, являющихся кислотами.

2596. Приведите формулы простейших (т. е. имеющих минимально возможное число атомов углерода) веществ с разветвленным углеродным скелетом: а) альдегидокислоты; б) спиртокислоты.

2597. Приведите формулы простейшего (т. е. с минимально возможным числом атомов углерода) соединения, имеющего три разные функциональные группы, каждая из которых содержит атом кислорода. Приведите формулу изомера этого соединения.

2598. Среди перечисленных ниже веществ найдите такие, которые могут иметь изомеры: трихлорэтен, дихлорэтен, этаналь, уксусная кислота. Напишите для каждого из выбранных веществ по одному изомеру.

2599. Произойдет ли реакция, если: а) к ацетату натрия добавить серную кислоту; б) к сульфату калия добавить уксусную кислоту? Ответ поясните.

2600. Приведите уравнение реакции, в ходе которой образуются бензоат калия и карбонат калия в молярном соотношении 1 : 2.

2601. Приведите уравнение реакции, в ходе которой образуются дикалиевая соль терефталевой кислоты и карбонат калия в равном молярном отношении.

2602. Из какого алкена в результате последовательно протекающих двух реакций окисления и реакции замещения можно получить хлоруксусную кислоту, не используя другие органические вещества?

2603. Из какого вещества в результате последовательно протекающих двух реакций замещения и реакции окисления можно получить бензойную кислоту, не используя другие органические вещества?

2604. Из какого вещества в результате последовательно протекающих реакций замещения, окисления и замещения можно получить пропионат кальция, не используя другие органические вещества?

2605. Из какого вещества в результате последовательно протекающих реакций окисления, обмена и замещения можно получить нитробензойную кислоту, не используя другие органические вещества?

2606. Органическое вещество А можно получить в одну стадию либо восстановлением (водородом) соединения В, либо действием аммиачного раствора оксида серебра при легком нагревании (и последующем подкислении) на соединение С. Приведите одну из возможных структур А с минимально возможным числом атомов углерода. Напишите уравнения упомянутых реакций, а также уравнение реакции этерификации между веществами В и С.

2607. В трех пробирках находятся карбид кальция, этилат кальция, ацетат кальция. Опишите идентификацию веществ.

2608. В трех пробирках находятся пропанол, олеиновая кислота, уксусная кислота. Опишите идентификацию веществ.

2609. В трех пробирках находятся глицерин, толуол, муравьиная кислота. Опишите идентификацию веществ.

2610. В трех пробирках находятся этилат калия, фенолят калия, ацетат калия. Опишите идентификацию веществ.

2611. Как можно очистить уксусную кислоту от небольшого количества: а) муравьиной кислоты; б) ацетальдегида; в) пропанола? Опишите процедуры, которые необходимо для этого выполнить, и приведите уравнения реакций.

2612. Как можно разделить смесь, содержащую фенол, бензол, этанол и уксусную кислоту. Опишите процедуры, которые необходимо для этого выполнить, и приведите уравнения реакций.

2613. Получите бензойную кислоту из метана без использования других органических веществ. Напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания.

2614. Получите этан из муравьиной кислоты без использования других органических веществ. Напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания.

2615. Из муравьиной кислоты, не используя углеродсодержащие вещества, получите хлороформ. Напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания.

2616. Из муравьиной кислоты, не используя углеродсодержащие вещества, получите диметиловый эфир. Напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания.

2617. Из муравьиной кислоты, не используя углеродсодержащие вещества, получите уксусную кислоту. Напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания.

2618. Имея бутандиол-1,2, воду, цинк, хлороводород и необходимые катализаторы, получите, не прибегая к крекингу, ацетат цинка. Напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания.

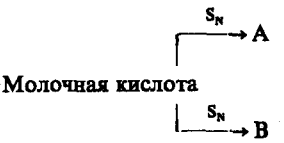
2619. Имея бутанол-1, сульфид калия, воду, концентрированную серную кислоту, хлор и необходимые катализаторы, получите, не прибегая к крекингу, калиевую соль хлоруксусной кислоты. Напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания.

2620. Имея 2-бром-1-хлорбутан, воду, магний и необходимые катализаторы, получите, не прибегая к крекингу, ацетат магния. Напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания.

2621. Имея 2-бром-3-иодбутан, алюминий, воду, гидроксид натрия и необходимые катализаторы, получите, не прибегая к крекингу, метан. Напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания.

2622. Среди изомерных метилдихлорциклогексадиенов выберите такой, из которого в две стадии, не используя других углеродсодержащих соединений, можно получить бензойную кислоту. Напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания.

2623*. Приведите уравнения реакции, иллюстрирующих схему:



A и B — изомеры.

2624. К порции масляной кислоты добавили вдвое большее количество альдегида, относящегося к гомологическому ряду метаналя. Число атомов водорода возросло при этом в 4 раза. Установите состав альдегида, вычислите его массовую долю и напишите структурные формулы всех его изомеров, имеющих

в молекуле по два вторичных атома углерода и альдегидную группу.

2625. В смеси двух ближайших гомологов, относящихся к гомологическому ряду бензойной кислоты, массовая доля кислорода равна 20%. Установите состав соединений, вычислите их массовые доли в смеси. Для того гомолога, массовая доля которого больше, приведите формулы всех структурных изомеров ароматического ряда, содержащих 4 третичных атома углерода.

2626. Вычислите массу пропионовой кислоты, которую можно получить окислением 56,0 л гексана (н. у.) с выходом 45,0%.

2627. Рассчитайте массу воды и массу пропионового ангидрида, которые смешали, если известно, что по окончании реакции образовался раствор пропионовой кислоты объемом 0,500 л с молярной концентрацией 0,100 моль/л (пл. 1,00 г/мл).

2628. Бензольный раствор, содержащий линолевую кислоту массой 5,60 г, обработали иодом массой 12,7 г. Вычислите массу образовавшегося иодпроизводного.

2629. Пропаналь массой 12,4 г окислили в кислоту, которую затем обработали избытком суспензии карбоната бария; объем выделившегося газа составил 2,24 л (н. у.). Вычислите, с каким выходом (%) прошла реакция окисления альдегида.

2630. При обработке избытком аммиачного раствора оксида серебра 5,30 г раствора формальдегида в муравьиной кислоте образовалось 54,0 г осадка. Вычислите массовую долю кислорода в исходной смеси.

2631. При нагревании 10,08 г раствора ацетальдегида в муравьиной кислоте с избытком гидроксида меди (II) в присутствии щелочи получили 31,68 г осадка. Вычислите массовые доли веществ в исходном растворе.

2632. Серебро массой 8,64 г перевели сначала в оксид, который затем растворили в избытке водного раствора аммиака. Полученным раствором обработали при легком нагревании 5,00 г 4,60%-го раствора муравьиной кислоты. Вычислите, какая часть (%) от первоначальной массы серебра осталась в растворе.

2633. Избыток аммиачного раствора оксида серебра добавили к 23,0 г 1,00%-го раствора муравьиной кислоты. Полученный после отделения серебра раствор осторожно выпарили, а сухой остаток обработали избытком разбавленной азотной кислоты. Вычислите объем выделившегося при 25 °С и 95 кПа газа.

2634. Аммиачный раствор оксида серебра добавили к водному раствору муравьиной кислоты. Полученный после отделения серебра раствор осторожно выпарили. Масса сухого остатка, состоящего из двух аммонийных солей, составила 9,21 г. Массовая доля азота в сухом остатке оказалась равной 25,8%. Вычислите массу образовавшегося серебра.

2635. Какая масса раствора гидроксида натрия с концентрацией 14,3 моль/л (пл. 1,43 г/мл) необходима для нейтрализации смеси, содержащей по 1,00 г пирокатехина, молочной кислоты и изопропилового спирта?

2636. Какую массу смеси бензойной кислоты, бензилового спирта и *о*-крезола, в которой массовые доли всех веществ равны между собой, можно нейтрализовать раствором гидроксида калия с концентрацией 12,0 моль/л объемом 1,00 мл?

2637. Через горячий 10,0%-й раствор муравьиной кислоты массой 75,0 г пропускали хлор до тех пор, пока массовые доли обеих кислот не сравнялись. Вычислите, какое количество вещества каждого соединения приходится в образовавшемся растворе на 1 моль воды.

2638. Для нейтрализации водного раствора уксусной кислоты и этанола необходимо 50,0 мл раствора с концентрацией гидроксида натрия 10,0 моль/л. Спирт, выделенный из этой смеси, при нагревании с концентрированным раствором серной кислоты образует 4,48 л этилена. Вычислите массовые доли спирта и кислоты в растворе, если известно, что при обработке исходного раствора той же массы избытком натрия выделяется 24,64 л водорода. Условия нормальные.

2639. При обработке смеси ацетальдегида, этанола и пропионовой кислоты избытком натрия выделяется 0,0450 моль водорода. Исходную смесь той же массы можно восстановить с помощью 0,0300 моль водорода или окислить с помощью 0,0280 моль перманганата калия в кислой среде. Вычислите общее число молекул в исходной смеси.

2640. Раствор смеси муравьиной и уксусной кислот в метаноле общей массой 3,26 г обработали избытком оксида серебра в аммиачном растворе; при этом образовалось 2,16 г серебра. Осадок отделили, а к оставшемуся раствору добавили избыток подкисленного раствора перманганата калия. Объем выделившегося газа составил 1,12 л (н. у). Вычислите массовые доли кислот в исходном растворе.

2641. Раствор *п*-крезола и пропионовой кислоты в диэтиловом эфире общим объемом 100 мл обработали избытком натрия. При поджигании выделившегося в ходе реакций водорода образовалась вода массой 4,50 г. При обработке такой же порции исходного раствора избытком гидрокарбоната калия выделилось 13,3 г газа. Вычислите молярную концентрацию крезола в исходном растворе.

2642. В результате окисления пропанола образовалась смесь паров трех веществ, в которой массовая доля спирта составила 8,85%, а объемная доля альдегида 30%. Вычислите выход реакции окисления пропанола до кислоты.

2643. Раствор фенола и уксусной кислоты в диэтиловом эфире массой 28 г обработали избытком гидрида натрия. Объем выделившегося газа оказался равным 678 мл. К такому же объему раствора добавили избыток 6,00%-го раствора гидрокарбоната натрия, объем выделившегося газа составил 218 мл. Объемы газов измерены при 20 °С и 99 кПа. Вычислите массовые доли веществ в исходном растворе.

2644. Смесь двух изомеров, один из которых является непредельной монокарбоновой кислотой, а другой — диальдегидом, может вступить во взаимодействие с 2,43 г бромоводорода. Такая же смесь такой же массы при обработке аммиачным раствором оксида серебра (I) образует 4,32 г серебра. Вычислите массовые доли веществ в исходной смеси.

2645. Смесь молочной кислоты и щавелевой кислоты растворили в диэтиловом эфире, после чего обработали избытком натрия. Объем выделившегося газа составил 336 мл (н. у.). Вычислите массу смеси образовавшихся солей.

2646. Смесь метилового эфира акриловой кислоты, масляной кислоты и метакриловой кислоты общей массой 4,38 г может вступить в реакцию с 2,54 г иода. Вычислите массовую долю масляной кислоты в исходной смеси.

2647. В 100 г раствора, в котором массовые доли хлороводорода и уксусной кислоты равны по 5,00%, растворили магний, при этом выделился водород объемом 1,792 л (н. у.). Вычислите массовые доли солей в образовавшемся растворе.

2648. В 150 г раствора, в котором массовые доли серной кислоты и муравьиной кислоты равны по 10,0%, растворили цинк, при этом выделился водород объемом 4,48 л (н. у.). Вычислите массы солей, которые образуются при осторожном выпаривании полученного раствора (соль серной кислоты кристаллизуется с семью молекулами воды, а соль муравьиной кислоты — с двумя молекулами воды).

2649. Водный раствор муравьиной кислоты, в котором массовая доля кислорода равна 87,0%, смешали с олеумом, в котором молярное соотношение компонентов равно 1 : 1. Выяснилось, что масса получившегося раствора оказалась в 9,9 раза больше массы исходного раствора муравьиной кислоты. Полученный раствор нагрели. Вычислите массовую долю кислорода во вновь образовавшемся растворе после окончания реакции.

2650. Смешали равные массы пропанола, пропионовой кислоты и фенола. С полученной смесью может вступить в реакцию не более чем 5,68 г питьевой соды. Какие максимальные массы натрия и гидроксида натрия могут вступить во взаимодействие с такими же порциями исходных веществ?

2651. Смешали равные массы этанола, уксусной кислоты и *о*-крезола. При добавлении к полученной смеси избытка гидрокарбоната калия выделяется 1,49 л (н. у.) газа. Какие максимальные массы калия и гидроксида калия могут вступить во взаимодействие с такими же порциями исходных веществ?

2652. Смешали равные количества веществ молочной кислоты и этанола. Максимальная масса мела, которая может вступить во взаимодействие с этой смесью, составляет 2,00 г. Какая максимальная масса натрия может вступить во взаимодействие с такой же порцией исходных веществ?

2653. Смешали равные количества веществ этиленгликоля и муравьиной кислоты. Максимальная масса натрия, которая может вступить во взаимодействие с этой смесью, составляет 2,30 г. Какая максимальная масса гидрокарбоната аммония может вступить во взаимодействие с такой же порцией исходных веществ?

2654. Массовая доля углерода в полигидроксикарбоновой кислоте равна 40,0%. Для ее этерификации уксусной кислоты требуется по массе в 2 раза больше, чем пропанола-1. Установите состав и возможное строение кислоты (3 структурные формулы).

2655. Ненасыщенная одноосновная кислота массой 9,73 г может вступить в реакцию с 1,61 г этанола. Эта кислота той же массы в присутствии никелевого катализатора может вступить в реакцию с 3,222 л водорода без восстановления карбоксильной группы (100 °С, нормальное атмосферное давление). Установите возможное строение кислоты.

2656. Смесь массой 33,6 г двух одноосновных карбоновых кислот, отличающихся по составу только на один атом углерода, обработали избытком натрия, при этом выделилось 5,60 л газа (н. у.). Вычислите массовые доли кислот в исходной смеси, если известно, что для ее нейтрализации требуется 200 мл раствора гидроксида натрия с концентрацией 2,50 моль/л.

2657*. При сжигании смеси двух гомологов яблочной кислоты образуется 1,008 л углекислого газа (н. у.) и 0,576 г воды. Вычислите объем газа (95 кПа, 27 °С), способного выделиться при взаимодействии такого же образца смеси кислот с избытком натрия.

2658. При сжигании смеси двух соседних членов гомологического ряда кислот, относящихся к тому же гомологическому ряду, что и молочная кислота, выделилось 5,04 г воды. При обработке такой же массы исходной смеси избытком натрия выделилось 1,792 л газа (н. у.) Установите, какие вещества входили в состав смеси и в каком количестве.

2659. При обработке избытком натрия смеси двух соседних членов гомологического ряда одноосновных карбоновых кислот, имеющих одну двойную связь, выделилось 560 мл водорода (н. у.). Общая масса бромпроизводных, образующихся при взаимодействии такой же массы такой же смеси с бромоводородом, составляет 8,14 г. Установите, какие вещества входили в состав смеси и в каком количестве.

2660. При сжигании смеси двух соседних членов гомологического ряда двухосновных предельных карбоновых кислот образовалось 5,376 л углекислого газа (н. у.). Для нейтрализации такого же количества такой же смеси потребовалось 50,0 г 22,4%-го раствора гидроксида калия. Установите, какие вещества входили в состав смеси и в каком количестве.

2661. При обработке холодным раствором перманганата калия смеси двух соседних членов гомологического ряда одноосновных карбоновых кислот, имеющих одну C=C-связь, образовалось 0,0600 моль оксида марганца (IV). Общая масса хлорпроизводных, образующихся при взаимодействии такой же массы исходной смеси с хлороводородом, составляет 11,87 г. Установите, какие вещества входили в состав смеси и в каком количестве.

2662. При обработке смеси двух соседних членов гомологического ряда предельных одноосновных кислот избытком гидрокарбоната натрия выделилось 8,96 л газа (н. у.). При обработке такой же массы такой же смеси этанолом при нагревании в присутствии серной кислоты была получена органическая фаза массой 24,8 г (выход обоих продуктов составил 80,0%). Установите, какие вещества входили в состав смеси и в каком количестве.

2663. При обработке смеси двух соседних членов гомологического ряда предельных одноосновных кислот избытком оксида магния была получена смесь солей массой 37,5 г. Для нейтрализации такой же массы такой же смеси потребовалось 160 мл раствора гидроксида натрия с концентрацией 2,50 моль/л. Установите, какие вещества входили в состав смеси и в каком количестве.

2664. При обработке смеси двух соседних членов гомологического ряда предельных одноосновных кислот избытком гидроксида калия была получена смесь солей массой 26,6 г. Для получения смеси дихлорпроизводных из той же смеси той же массы требуется 11,2 л (н. у.) хлора (при условии количественного выхода). Установите, какие вещества входили в состав смеси и в каком количестве.

2665. К водному раствору насыщенной монокарбоновой кислоты с неразветвленным скелетом добавили смесь карбонатов натрия и калия до прекращения выделения газа, которого образовалось 2,24 л (н. у.). Суммарная масса выделенных из ра-

створа солей оказалась равной 24,0 г. Установите структуру кислоты.

2666. Для нейтрализации гомолога акриловой кислоты, находящегося в растворе, потребовалось 20,0 мл раствора гидроксида калия с концентрацией 2,00 моль/л. Масса выделившейся соли оказалась равной 4,96 г. Установите состав кислоты и предложите возможное строение (три структурные формулы).

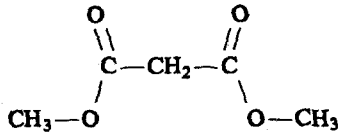
2667. Гомолог молочной кислоты, находящийся в растворе в диэтиловом эфире, обработали избытком натрия, при этом выделилось 224 мл (н. у.) газа, а масса выделенной соли составила 1,20 г. Эту соль затем растворили в воде, доведя объем до 250 мл. Какие вещества находятся в растворе? Какова их молярная концентрация?

2668. Смесь пропанола и пропионовой кислоты сожгли, при этом выделилось 621 кДж теплоты. Объем кислорода, израсходованного на сгорание, в 1,4 раза больше объема полученного углекислого газа, а масса трубки с оксидом фосфора (V) после пропускания через нее продуктов сгорания увеличилась на 22,18 г. Вычислите, какое количество теплоты выделится при сгорании 1 моль пропанола, если известно, что при сгорании 1 г пропионовой кислоты выделяется 20,62 кДж теплоты.

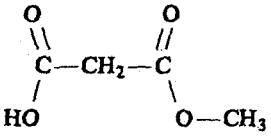
2669. Смесь муравьиной кислоты и уксусной кислоты сожгли, при этом выделилось 243 кДж теплоты. Объем выделившегося углекислого газа на 25% больше объема кислорода, израсходованного на сгорание, а масса трубки с безводным сульфатом меди после пропускания через нее продуктов сгорания увеличилась на 12,0 г. Вычислите, какое количество теплоты выделится при сгорании 1 г уксусной кислоты, если известно, что при сгорании 1 моль муравьиной кислоты выделяется 255 кДж теплоты.

3.9. СЛОЖНЫЕ ЭФИРЫ

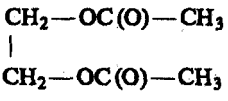
Сложные эфиры, как уже указывалось выше, являются функциональными производными кислот. Многоосновные кислоты могут образовывать полные и неполные сложные эфиры (не по всем карбоксильным группам). Многоатомные спирты также могут образовывать полные и неполные (не по всем гидроксильным группам) сложные эфиры. Например:



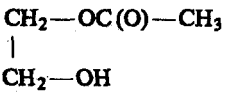
диметилмалонат
(полный сложный эфир)



монометилмалонат
(неполный сложный эфир)

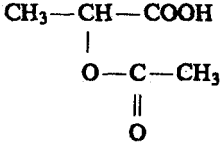


диацетат этиленгликоля
(полный сложный эфир)

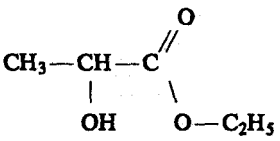


моноацетат этиленгликоля
(неполный сложный эфир)

Гидроксикислоты кислоты могут образовывать сложные эфиры как по карбоксильной группе, так и по гидроксильной группе, на примере молочной кислоты:



лактоилацетат
(по группе –OH)



этиллактат
(по группе –COOH)

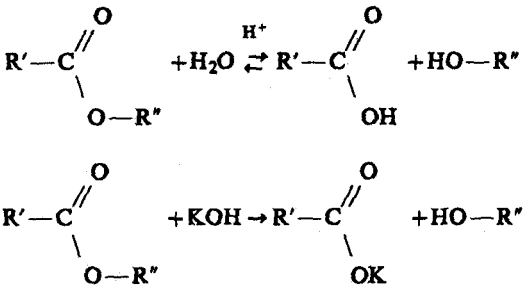
Фенолы непосредственно в реакцию этерификации с кислотами не вступают, однако их сложные эфиры существуют.

Кратко охарактеризуем физические свойства сложных эфиров. Сложные эфиры с небольшой относительной молекулярной массой (низших карбоновых кислот и низших спиртов) — жидкости, часто с приятным запахом. Такие сложные эфиры часто обусловливают запах эфирных масел некоторых растений.

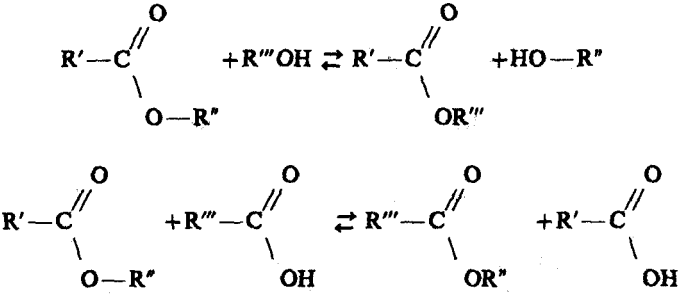
Полученные синтетическим путем сложные эфиры включают в состав фруктовых эссенций для имитации запаха (изоамилацетат — запах груши, этилбутират — ананасов, изоамилизовалерианат — яблок).

Сложные эфиры с большой относительной молекулярной массой — твердые вещества без запаха. С увеличением относительной молекулярной массы растворимость сложных эфиров в воде уменьшается (сравните: массовая доля в насыщенном растворе метилформиата 30,4%, этилацетата 8,5%, бутилбутираты в воде практически нерастворимы). Сложные эфиры хорошо растворяются в диэтиловом эфире и этаноле.

Для сложных эфиров наиболее характерны реакции гидролиза. Сложные эфиры гидролизуются при нагревании как в кислой, так и в щелочной среде:

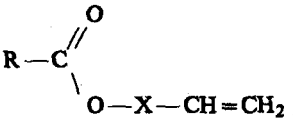


Сложные эфиры могут вступать также в реакцию переэтерификации, в ходе которой происходит замена либо спиртового остатка на другой спиртовой остаток (алкоголиз), либо кислотного остатка на другой кислотный остаток (ацидолиз):



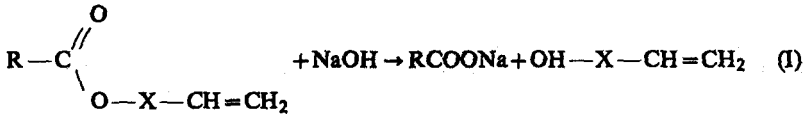
Пример 73. Смесь сложного эфира и циклогексена общей массой 5,90 г может вступить во взаимодействие с 200 г 5,60%-го раствора брома в тетрахлориде углерода или с 25,0 мл раствора гидроксида натрия с концентрацией 1,60 моль/л. Установите формулу сложного эфира, если известно, что он образован непредельным одноатомным спиртом и насыщенной монокарбоновой кислотой и при его щелочном гидролизе образуются соль и спирт.

Решение. Формулу сложного эфира представим таким образом:



, где R — алкильный радикал, а X — одна или несколько метиленовых групп $-CH_2-$.

В реакцию с гидроксидом натрия вступает только сложный эфир. Запишем уравнение реакции гидролиза:



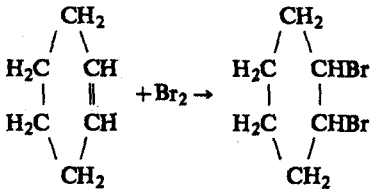
(I)

Рассчитаем количество вещества щелочи и узнаем количество вещества эфира:

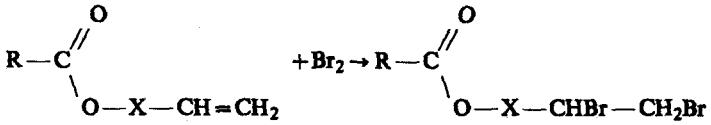
$$\nu(\text{NaOH}) = c(\text{NaOH})V(\text{NaOH,р-р});$$

$$\nu(\text{NaOH}) = 1{,}6 \cdot 0{,}025 = 0{,}04 \text{ моль};\ \nu(\text{эфир}) = \nu(\text{NaOH}) = 0{,}04 \text{ моль}.$$

В реакцию с бромом вступают оба вещества:



(II)



(III)

Найдем количество вещества брома, вступившее в реакции (II) и (III) по формуле

$$\nu(\text{Br}_2) = \frac{m(\text{Br}_2\text{,р-р})\,\omega(\text{Br}_2)}{M(\text{Br}_2)};\quad \nu(\text{Br}_2) = \frac{200 \cdot 0{,}056}{160} = 0{,}07 \text{ моль}.$$

Поскольку все стехиометрические коэффициенты во всех рассмотренных реакциях равны 1, в реакцию (III) вступило брома 0,04 моль, следовательно, в реакцию (II) вступит $0{,}07 - 0{,}04 = 0{,}03$ моль; это значит, что ν (циклогексан) $= 0{,}03$ моль и

$$m\,(\text{циклогексан}) = M\,(\text{циклогексан})\,\nu(\text{циклогексан});$$

$$m\,(\text{циклогексан}) = 82 \cdot 0{,}03 = 2{,}46 \text{ г}.$$

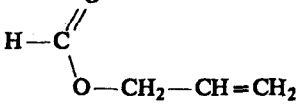
Найдем массу сложного эфира, находящегося в смеси, и затем — его молярную массу:

$$m(\text{эфир}) = m(\text{смесь}) - m(\text{циклогексан}) = 5{,}9 - 2{,}46 = 3{,}44 \text{ г};$$

$$M(\text{эфир}) = m(\text{эфир}) : \nu(\text{эфир});\ M(\text{эфир}) = 3{,}44 : 0{,}04 = 86 \text{ г/моль}.$$

Молекулярная формула эфира, отвечающего условию задачи, $C_mH_{2m-2}O_2$. Составим уравнение: $14m + 30 = 86$; $m = 4$.

Искомый сложный эфир не мог быть образован виниловым спиртом, так как в противном случае при гидролизе образовался бы не спирт, а ацетальдегид. Единственно возможная структура — аллилформиат:



Пример 74. Имеется смесь двух ближайших гомологов сложных эфиров, образованных бензойной кислотой и одноатомными спиртами. В молекуле низшего гомолога атомов кислорода в 6 раз меньше атомов водорода, а в молекуле высшего гомолога число атомов кислорода в 6 раз меньше числа атомов углерода. При гидролизе 54,2 г смеси этих эфиров избытком щелочи образуется 43,2 г бензоата натрия. Вычислите молярное соотношение эфиров в смеси.

Решение. В молекулах обоих сложных эфиров число атомов кислорода равно 2, поэтому число атомов водорода в молекуле низшего гомолога равно $6 \cdot 2 = 12$, а в молекуле высшего гомолога $12 + 2 = 14$. Число атомов углерода в молекуле высшего гомолога равно также $6 \cdot 2 = 12$, следовательно, число атомов углерода в молекуле низшего гомолога $12 - 1 = 11$. Итак, молекулярные формулы соединений смеси выглядят так: $C_{11}H_{12}O_2$ и $C_{12}H_{14}O_2$.

Запишем уравнения реакций гидролиза:

$$C_{11}H_{12}O_2 + NaOH \rightarrow C_6H_5COONa + C_4H_7OH$$

$$C_{12}H_{14}O_2 + NaOH \rightarrow C_6H_5COONa + C_5H_9OH$$

Пусть $\nu(C_{11}H_{12}O_2) = x$ (моль); $\nu(C_{12}H_{14}O_2) = y$ (моль).

Количество вещества бензоата натрия, образовавшегося в ходе гидролиза, вычислим по формуле

$$\nu(C_6H_5COONa) = m(C_6H_5COONa) : M(C_6H_5COONa);$$

$$\nu(C_6H_5COONa) = 43{,}2 : 144 = 0{,}3 \text{ моль}.$$

Выразим массы обоих сложных эфиров:

$$m(X) = M(X)\,\nu(X);\ m(C_{11}H_{12}O_2) = 176x;\ m(C_{12}H_{14}O_2) = 190y.$$

Составим систему уравнений:

$$\begin{cases} 176x + 190y = 54{,}2, \\ x + y = 0{,}3, \text{ откуда } x = 0{,}2;\ y = 0{,}1, \end{cases}$$

таким образом, молярное соотношение равно 2 : 1 (низшего гомолога больше).

ВОПРОСЫ, УПРАЖНЕНИЯ И ЗАДАЧИ

2670. Какие соединения называют сложными эфирами?

2671. Опишите физические свойства сложных эфиров.

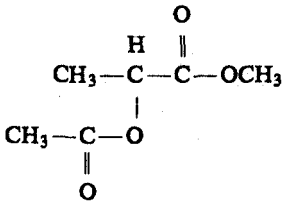
2672. Приведите структурные формулы сложных эфиров, образованных: а) ароматической кислотой и предельным однатомным спиртом; б) непредельной кислотой и циклическим предельным одноатомным спиртом; в) альдегидокислотой и двухатомным предельным спиртом (полного); г) гидроксикислотой и непредельным одноатомным спиртом; д) кетокислотой и альдегидоспиртом. Для каждого случая приведите молекулярную формулу для всех членов гомологического ряда.

2673. Напишите уравнение реакции гидролиза *втор*-бутилбутирата: а) в кислой среде; б) в щелочной среде.

2674. Приведите пример реакции полимеризации сложного эфира.

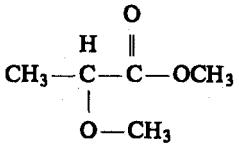
2675. Приведите примеры использования сложных эфиров.

2676. Для указанного соединения



а) напишите уравнение реакции гидролиза; б) формулы четырех изомеров.

2677. Для указанного соединения



а) напишите уравнение реакции гидролиза; б) формулы четырех изомеров.

2678*. Напишите формулу этилпирувата. Для этого соединения: а) напишите уравнения реакций гидролиза в кислой и щелочной средах; б) приведите формулы пяти изомеров.

2679*. Напишите уравнение реакции гидролиза в щелочной среде метилэтилового эфира малоновой кислоты. Для этого же соединения приведите формулы трех изомеров с разветвленным углеродным скелетом.

2680*. Напишите уравнение реакции гидролиза сложного эфира, образованного молочной и пировиноградной кислотами. Приведите для этого эфира формулу гомолога с минимально возможным числом атомов углерода в молекуле.

2681. При восстановлении сложного эфира было получено только одно соединение — метилпропанол. Установите формулу сложного эфира, вступившего в реакцию.

2682. При восстановлении сложного эфира была получена смесь двух пропанолов. Установите формулу сложного эфира, вступившего в реакцию.

2683. При гидролизе сложного эфира была получена смесь только двух веществ. Эти вещества являются изомерами. Приведите возможную структурную формулу исходного сложного эфира.

2684. Приведите структурные формулы изомерных сложных эфиров состава $C_5H_{10}O_2$ с неразветвленным углеродным скелетом.

2685. Приведите структурные формулы всех изомерных сложных эфиров состава $C_6H_{10}O_2$ с разветвленным углеродным скелетом.

2686. Смесь изомеров трехатомных спиртов с четырьмя атомами углерода в молекуле вступает в реакцию этерификации с уксусной кислотой в молярном соотношении 1 : 1. Напишите формулы всех возможных изомерных продуктов этой реакции.

2687. При гидролизе сложного эфира на 1 моль глицерина образуется 3 моль уксусной кислоты. Напишите структурные формулы (не менее 10 изомеров) этого соединения, являющихся также сложными эфирами.

2688. Приведите возможную структурную формулу сложного эфира, образованного предельной одноосновной гидроксикислотой и предельным одноатомным спиртом. В молекуле сложного эфира число атомов водорода в 4 раза больше числа атомов кислорода. Приведите формулу изомера этого соединения, не являющегося сложным эфиром.

2689. Приведите возможную формулу сложного эфира, образованного предельной одноосновной альдегидокислотой и предельным одноатомным спиртом. В молекуле сложного эфира число атомов водорода в 4 раза больше числа атомов кислорода. Приведите формулу изомера этого соединения, не являющегося сложным эфиром.

2690. Приведите возможную структурную формулу сложного эфира, образованного предельной одноосновной кислотой и предельным одноатомным альдегидоспиртом. В молекуле сложного эфира число атомов углерода в 2 раза больше числа атомов кислорода. Приведите формулу изомера этого соединения, не являющегося сложным эфиром.

2691. Приведите возможную структурную формулу сложного эфира, образованного непредельной (с одной двойной связью) одноосновной кислотой и непредельным (с одной двойной связью) одноатомным спиртом. В молекуле сложного эфира число атомов водорода в 4 раза больше числа атомов кислорода. Приведите формулу изомера этого соединения, не являющегося сложным эфиром.

2692. Приведите возможную структурную формулу сложного эфира, образованного ароматической одноосновной кислотой и ароматическим одноатомным спиртом. В молекуле сложного эфира число атомов водорода в 7 раз больше числа атомов кислорода. Приведите формулу изомера этого соединения, не являющегося сложным эфиром.

2693. К перечисленным веществам: метилформиат, бензиловый спирт, пропаналь, метилфенол, ацетон добавьте одно; в результате должно получиться три пары изомеров. Напишите формулы всех веществ и укажите пары изомеров.

2694. К перечисленным веществам: метилфениловый эфир, диметилфенол, пропионовая кислота, метилацетат, этилфенол добавьте одно, в результате должно получиться три пары изомеров. Напишите формулы всех веществ и укажите пары изомеров.

2695. К перечисленным веществам: бутанол, метилизопропиловый эфир, циклобутанол, бутаналь, изопропиловый эфир муравьиной кислоты добавьте одно, в результате должно получиться три пары изомеров. Напишите формулы всех веществ и укажите пары изомеров.

2696. Напишите уравнения всех реакций и опишите процедуры, которые необходимо выполнить для получения метилового эфира масляной кислоты из метилового эфира пропионовой кислоты и этилового эфира масляной кислоты.

2697. Напишите уравнения всех реакций и опишите процедуры, которые необходимо выполнить для получения пропилового эфира уксусной кислоты из метилового эфира уксусной кислоты и пропилового эфира масляной кислоты.

2698. Из какого вещества в результате последовательно протекающих реакций гидролиза, окисления и этерификации можно получить диметиловый эфир терефталевой кислоты, не используя другие органические вещества?

2699. Из метилового эфира трихлоруксусной кислоты и этилового эфира хлоруксусной кислоты, не используя другие органические вещества, получите метиловый эфир дихлоруксусной кислоты. Напишите уравнения реакций.

2700. Из метилформиата, не используя другие углеродсодержащие вещества, в четыре стадии получите гомолог. Напишите уравнения реакций.

2701. Из бутана получите сложный эфир с шестью атомами углерода в молекуле, не используя углеродсодержащие вещества. Напишите уравнения реакций.

2702. Из этаналя и пропаналя получите сложный эфир с семью атомами улерода в молекуле, не используя другие углеродсодержащие вещества. Напишите уравнения реакций.

2703. Имея в распоряжении два изомерных хлорпропана, получите два разных сложных эфира с шестью атомами углерода в молекуле (без использования других органических веществ). Напишите уравнения реакций.

2704. Из оксида углерода (II), не используя другие углеродсодержащие вещества, в три стадии получите один из сложных эфиров. Напишите уравнения реакций.

2705. Из этилформиата, не используя другие углеродсодержащие вещества, в три стадии получите метанол. Напишите уравнения реакций.

2706. Из муравьиной кислоты получите этилформиат, не используя другие углеродсодержащие вещества. Напишите уравнения реакций.

2707. Из метилформиата получите три разных дибромпроизводных углеводородов.

2708. Из метилпропионата, не используя другие углеродсодержащие вещества, получите этиловый эфир хлоруксусной кислоты. Напишите уравнения реакций.

2709. Из этилацетата, не используя другие углеродсодержащие вещества, получите три разных дихлорпроизводных углеводородов. Напишите уравнения реакций.

2710. Из метилпропионата, не используя другие углеродсодержащие вещества, получите два разных полимера. Напишите уравнения реакций.

2711. Предложите способ получения из этана (без использования других углеродсодержащих соединений) сложного эфира и простого эфира. Напишите уравнения реакций.

2712. Из 1-хлорпропана получите изопропиловый эфир пропионовой кислоты без использования других органических веществ. Напишите уравнения реакций.

2713. Получите пропиловый эфир пропионовой кислоты из пропаналя без использования других органических веществ. Напишите уравнения реакций.

2714. Из метилформиата получите 1,2-дибромэтан без использования других органических веществ. Напишите уравнения реакций.

2715. Из метилацетата получите дибромметан без использования других органических веществ. Напишите уравнения реакций.

2716. Из метилпропионата, не используя другие углеродсодержащие вещества, в три стадии получите бромэтан. Напишите уравнения реакций.

2717. Из этилацетата, не используя другие углеродсодержащие вещества, получите дихлорметан. Напишите уравнения реакций.

2718. Из метилпропионата, не используя другие углеродсодержащие вещества, получите полиэтилен. Напишите уравнения реакций.

2719. Из изопропилового эфира пропионовой кислоты получите полипропилен, не используя другие углеродсодержащие вещества. Напишите уравнения реакций.

2720. Предложите оптимальный способ получения этилацетата из оксида углерода (II) без использования других углеродсодержащих веществ. Напишите уравнения реакций.

2721*. Синтезируйте из бензола и необходимых неорганических соединений: а) циклогексилбензоат; б) метил-*м*-нитробензоат. Напишите уравнения реакций.

2722*. Из ацетальдегида получите, не используя другие углеродсодержащие вещества, сложный эфир, способный вступать в реакции S_E. Напишите уравнения реакций.

2723. Имеются формальдегид, этан, серная кислота и перманганат калия. Не расходуя других веществ (выбор катализаторов не ограничен), получите в шесть стадий сложный эфир с тремя атомами углерода в молекуле. Напишите уравнения реакций.

2724. Имеются 1-хлорбутан, пропен, вода, перманганат калия и серная кислота. Получите с помощью этих веществ изопропиловый эфир масляной кислоты.

2725. Выберите любой сложный эфир с формулой $C_nH_{2n-2}O_2$ и получите из него в две стадии простой эфир с формулой $C_mH_{2m+2}O$ ($m>n$). Все атомы углерода в составе простого эфира входили в состав сложного эфира. Напишите уравнения реакций, используя структурные формулы.

2726. Выберите любой сложный эфир с формулой $C_nH_{2n-2}O_4$ и получите из него в две стадии простой эфир с формулой $C_mH_{2m+2}O$ ($m>n$). Все атомы углерода в составе простого эфира входили в состав сложного эфира. Напишите уравнения реакций, используя структурные формулы.

2727. Выберите любой сложный эфир с формулой $C_nH_{2n}O_2$ и получите из него, не используя других органических соединений, другой сложный эфир с формулой $C_{n-1}H_{2n-2}O_2$. Напишите уравнения реакций, используя структурные формулы.

2728. Выберите любой сложный эфир с формулой $C_nH_{2n}O_2$ и получите из него, не используя других органических соединений, другой сложный эфир с формулой $C_{n+1}H_{2n+2}O_2$. Напишите уравнения реакций, используя структурные формулы.

2729. Составьте уравнение реакции с использованием структурных формул веществ, предварительно выбрав подходящее значение *n*:

$$C_nH_{2n-2}O_4 + 2KOH \rightarrow C_{n-6}H_{2n-13}O_2K + C_{n-4}H_{2n-9}O_2K + X$$

X — вещество, использующееся для изготовления антифризов и бездымного пороха. Приведите для *X* уравнение реакции получения из углеводорода.

2730. Составьте уравнения реакций по схеме:

$$A \xrightarrow[[H_2O,\ t]]{+NaOH} B \xrightarrow[[+H^+,\ t]]{+KMnO_4} C \xrightarrow[[H^+,\ t]]{+спирт} D$$

A и D — сложные эфиры, содержащие по три атома углерода в молекулах.

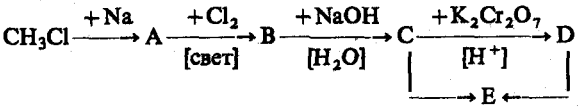
2731. Составьте уравнения реакций по схеме:

$$A \xrightarrow[[H^+,\ t]]{+H_2O} B \xrightarrow[[фосфор]]{+Cl_2} C \xrightarrow{+KOH} CH_2ClCOOK$$

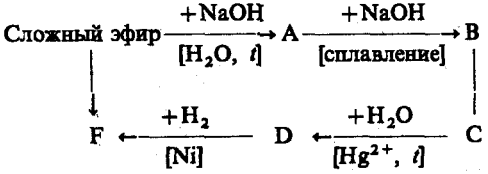
2732. Составьте уравнения реакций по схеме:

$$\text{Сложный эфир} \xrightarrow[[t]]{+NaOH} A \xrightarrow{+HBr} B \xrightarrow{+Na} \text{Бутан}$$

2733. Составьте уравнения реакций по схеме:



2734. Составьте уравнения реакций по схеме:



2735. В смеси паров этилмонохлорацетата и простого эфира, в состав которого входят алкильные радикалы, масса кислорода на 125,4% больше массы хлора. Плотность этой смеси при нормальном давлении и температуре 150 °С равна 2,173 г/л. Установите состав эфира и напишите структурные формулы его изомеров, имеющих вторичный атом углерода.

2736. Смесь этилацетата и гексилацетата сожгли, масса образовавшейся при этом воды оказалась равной 2,70 г. Вычислите объем выделившегося при 15 °С и нормальном давлении углекислого газа.

2737. Смесь изопропилацетата и этилформиата сожгли. Объем кислорода, израсходованного на сгорание, в 1,28 раза больше объема образовавшегося углекислого газа (объемы измерялись при одинаковых условиях). Вычислите молярные доли сложных эфиров в исходной смеси.

2738. Максимальное количество вещества гидроксида натрия, с которым может вступить в реакцию 2,94 г смеси пирокатехина, метилацетата и этилформиата, равно 0,05 моль. Вычислите массовую долю пирокатехина в исходной смеси.

2739. Имеется смесь метилового и пропилового эфиров бензойной кислоты, в которой число атомов кислорода составляет 8,55% от общего числа атомов и равно числу Авогадро. Вычислите объем воздуха (н. у.), необходимый для сжигания смеси эфиров.

2740. Полный метиловый эфир двухатомного спирта массой 4,50 г сожгли в 11,2 л (н. у.) кислорода. После приведения продуктов горения к нормальным условиям их плотность по гелию составила 9,412. Вычислите объем (н. у.) неизрасходованного кислорода.

2741. При сжигании смеси полных метиловых эфиров двух гомологов дикарбоновых кислот образуется 7,616 л углекислого газа (н. у.) и 4,86 г воды. Вычислите объем 20%-го раствора гидроксида калия (пл. 1,19 г/мл), необходимый для полного гидролиза такого же образца сложных эфиров.

2742. Из 4 моль ацетилена синтезировали альдегид, а из него — сложный эфир. Вычислите количество вещества получившегося сложного эфира, если выходы реакций составили: реакции гидратации 70%, реакции восстановления 80%, реакции окисления 90%, реакции этерификации 60% (порцию полученного альдегида для дальнейшего синтеза разделили на две равные части).

2743. Пропаналь разделили на две равные порции. Одну из них с выходом 80,0% восстановили до спирта, а другую с выходом 90,0% окислили до кислоты. Образовавшиеся соединения нагрели вместе с концентрированным раствором серной кислоты, в результате чего с выходом 75,0% получили органическое вещество массой 50,0 г. Вычислите исходную массу пропаналя.

2744. Для гидролиза смеси метилформиата и этилацетата общей массой 32,4 г потребовалось 72,3 мл 25,0%-го раствора гидроксида калия (пл. 1,24 г/мл). Вычислите массовые доли сложных эфиров в исходной смеси.

2745. Смесь уксусной кислоты и этилацетата может вступить в реакцию максимально с 20,0 г карбоната кальция. Максимальная масса ацетата калия, которая может образоваться при обработке избытком водного раствора щелочи такой же порции этой же смеси исходных веществ, равна 44,1 г. Вычислите массовые доли веществ в исходной смеси.

2746. Какое количество вещества уксусной кислоты следует взять для проведения этерификации с 3,10 г этиленгликоля, чтобы получить смесь двух эфиров в молярном соотношении 1 : 4 (тяжелого соединения больше)?

2747. Порцию *цис*-бутена-2 пропустили через 150 г 4,74%-го слабощелочного раствора перманганата калия. По окончании реакции массовая доля перманганата калия снизилась вдвое. Вычислите, какая масса уксусной кислоты потребуется для получения полного сложного эфира спирта, выделенного из реакционной смеси.

2748. В состав смеси входят сложные эфиры уксусной кислоты, образованные фенолом, этанолом и молочной кислотой; молярное соотношение компонентов в смеси 3:2:1 в порядке перечисления. Вычислите, какое количество вещества гидроксида калия вступило в реакцию с этой смесью, если известно, что при этом образовался ацетат калия массой 24,5 г.

2749. Смесь винилацетата и этилацетата подвергли щелочному гидролизу. После отделения ацетата калия, которого образовалось 0,75 моль, к смеси органических веществ добавили избыток серной кислоты и перманганата калия. Установлено, что в реакцию вступило 0,5 моль перманганата калия. Вычислите молярное соотношение сложных эфиров в исходной смеси.

2750. Некоторую порцию изопропилпропионата подвергли сначала кислотному гидролизу, а затем — щелочному. Масса спирта в первом случае оказалась в 3 раза больше массы спирта, полученного в ходе щелочного гидролиза. Полагая, что щелочной гидролиз прошел с выходом 100%, рассчитайте выход реакции (%) кислотного гидролиза.

2751. Для синтеза сложного эфира взяли по 30,0 мл этанола и уксусной кислоты (пл. веществ 0,789 и 1,049 г/мл соответственно) и 1,00 мл 98,0%-го раствора серной кислоты (пл. 1,83 г/мл). После установления равновесия сложный эфир отделили. К оставшейся смеси добавили воды до общего объема 100 мл. Для нейтрализации 10,0 мл полученного раствора потребовалось 40,2 мл раствора гидроксида натрия с концентрацией 0,5 моль/л. Вычислите, с каким выходом (%) прошла реакция этерификации.

2752. При щелочном гидролизе сложного эфира, пары которого в 2 раза тяжелее пропана, была получена соль массой 126 г и спирт, при окислении которого с выходом 80,0% получили кетон массой 69,6 г. В присутствии какой щелочи проводился гидролиз?

2753. Метилформиат подвергли кислотному гидролизу, который прошел с некоторым выходом. Продукты гидролиза обработали избытком концентрированной серной кислоты при нагревании. Вычислите плотность образовавшейся газовой смеси при 0 °С и 95 кПа.

2754. Массовая доля углерода в сложном эфире, образованном бензойной кислотой и предельным одноатомным спиртом, равна 72,0%. Какой объем 11,2%-го раствора гидроксида

калия (пл. 1,12 г/мл) необходим для гидролиза 30,0 г такого эфира?

2755. При гидролизе полного сложного эфира этиленгликоля образовалось 15,5 г спирта и соль только одной предельной одноосновной кислоты, массовая доля калия в которой равна 34,82%. Какая масса сложного эфира вступила в реакцию гидролиза?

2756. Смесь двух изомеров, один из которых является монокарбоновой кислотой, а другой — сложным эфиром, при обработке избытком калия образует 0,672 л (н. у.) газа. Такую же смесь такой же массы обработали избытком гидроксида натрия при нагревании, образовавшийся спирт нагрели с концентрированной серной кислотой, при этом образовалось 0,448 л алкена. Вычислите массовые доли веществ в исходной смеси.

2757. Полный сложный эфир этиленгликоля образован двумя разными карбоновыми кислотами. В молекуле этого вещества атомов углерода на единицу больше, чем атомов кислорода. Какую массу этого сложного эфира можно подвергнуть полному гидролизу с помощью гидроксида калия массой 14,0 г, находящегося в водном растворе?

2758. Полный сложный эфир глицерина образован двумя разными предельными карбоновыми кислотами. В молекуле этого вещества атомов кислорода на четыре меньше, чем атомов водорода. Какая масса гидроксида калия необходима для проведения полного щелочного гидролиза этого сложного эфира массой 50,0 г?

2759. В полном сложном эфире, образованном предельной двухосновной кислотой и предельным одноатомным спиртом, число атомов водорода в 2 раза больше числа атомов кислорода. Какая масса спирта образуется при полном кислотном гидролизе 2 моль этого сложного эфира?

2760. В смеси двух сложных эфиров с разветвленными углеродными скелетами число атомов углерода в 2,5 раза больше числа атомов кислорода. При гидролизе этой смеси образовалась одна предельная одноосновная карбоновая кислота и смесь предельных изомерных одноатомных спиртов. Вычислите массу образовавшейся кислоты, если известно, что в ходе реакции одного спирта образовалось 4,07 г, а другого — 3,33 г.

2761. Имеется смесь равных количеств веществ двух гомологов сложных эфиров, образованных бензиловым спиртом и одноосновными предельными карбоновыми кислотами. В молекуле низшего гомолога атомов водорода в 6 раз больше атомов кислорода, а в молекуле высшего гомолога число атомов углерода в 6 раз больше числа атомов кислорода. Какую массу этой

смеси можно подвергнуть гидролизу с помощью 11,2 г гидроксида калия, находящегося в водном растворе?

2762. Установите строение сложного эфира, в молекуле которого число атомов водорода в 2 раза больше числа атомов углерода. Для проведения щелочного гидролиза 3,70 г этого эфира требуется карбонат натрия массой 2,65 г. Известно, что исходное соединение вступает в реакцию серебряного зеркала.

2763. Продукты гидролиза сложного эфира обработали концентрированной серной кислотой при нагревании, при этом образовалась смесь двух газов с плотностью по водороду, равной 14,0. Установите строение сложного эфира.

2764. При сжигании сложного эфира образуется смесь двух веществ со средней молярной массой 31 г/моль. При гидролизе этого же эфира образуются спирт и кислота, которая может восстановиться в этот же спирт. Установите строение сложного эфира, если известно, что он имеет разветвленный углеродный скелет, а его относительная молекулярная масса не превышает 145.

2765. В реакции с натрием сложного эфира, образованного глицерином, выделяется 0,4 моль водорода. При гидролизе такой же порции этого эфира образовалась масляная кислота количеством вещества 0,4 моль. Установите возможную структуру эфира (приведите две возможные формулы).

2766. В реакции с натрием сложного эфира, образованного глицерином, выделяется 0,1 моль водорода. При щелочном гидролизе такой же порции этого эфира образовалась только одна соль, при прокаливании которой с избытком гидроксида натрия выделилось с выходом 75,0% 0,3 моль метана. Установите возможную структуру эфира (приведите две возможные формулы).

2767. Смесь глицерина и предельной одноосновной карбоновой кислоты общей массой 3,32 г может вступить максимально с 2,73 г калия. Для проведения реакции этерификации с кислотой, выделенной из первоначальной смеси той же массы, потребовалось 2,96 г смеси бутанола-2 и метилпропанола-1. Установите формулу кислоты.

2768. Смесь дивинилбензола и сложного эфира общей массой 3,46 г может вступить в реакцию с 8 г брома или с 0,767 г насыщенного раствора NaOH (растворимость 109 г в 100 г воды). Установите формулу сложного эфира, если известно, что он образован кислотой гомологического ряда муравьиной кислоты и непредельным (с одной двойной связью) одноатомным спиртом.

2769. Смесь 2,5-диметилфенола и сложного эфира общей массой 4,7 г может вступить в реакцию с 50 г 6,40%-го раствора

брома в тетрахлориде углерода или с 4,00 г 40,0%-го раствора гидроксида натрия. Установите формулу сложного эфира (существующего в виде двух изомеров), если известно, что он образован предельными одноосновной кислотой и одноатомным спиртом, причем при раздельном сжигании кислоты и спирта, получающихся при гидролизе этого эфира, образуются одинаковые объемы углекислого газа.

2770. В сложном эфире, существующем в виде *цис-транс*-изомеров, число вторичных атомов углерода в 2 раза меньше первичных атомов. Плотность паров этого вещества меньше плотности паров триэтилбензола. Масса брома, которую может присоединить этот сложный эфир, в 2,857 раза больше массы самого сложного эфира. Установите возможное строение сложного эфира (приведите две формулы).

2771. Смесь 1,3-дигидроксибензола и сложного эфира общей массой 2,00 г может вступить в реакцию с 80,0 г 6,00%-го раствора брома в тетрахлориде углерода или с 5,00 мл раствора с концентрацией гидроксида натрия 6 моль/л. Установите формулу сложного эфира, если известно, что он образован одноосновной насыщенной гидроксикислотой и предельным одноатомным спиртом.

2772. Для нейтрализации смеси тригидроксибензола и предельной двухосновной кислоты общей массой 6,06 г требуется 6,30 мл раствора NaOH с массовой долей 0,500 (пл. 1,525 г/мл). Для проведения реакции этерификации с кислотой, выделенной из первоначальной смеси той же массы, теоретически необходимо 2,43 мл метанола (пл. 0,790 г/мл). Предложите две возможные формулы кислоты.

2773. При обработке смеси предельной одноосновной кислоты и этиленгликоля общей массой 3,34 г избытком калия выделилось 0,990 л водорода (25 °С, 100 кПа). Для проведения реакции этерификации с кислотой, выделенной из первоначальной смеси той же массы, теоретически необходимо 1,20 г изопропилового спирта. Установите формулу кислоты.

2774. Органическое соединение, состоящее из атомов четырех элементов и в котором массовая доля углерода равна массовой доле кислорода, имеет молярную массу меньше, чем тетрахлорметан. Порцию этого вещества растворили в воде, получив раствор массой 80 г, в котором массовая доля гидроксида натрия составила 2%. К полученному раствору добавили 150 г горячего раствора, в котором массовые доли серной кислоты и перманганата калия равны по 3%, в результате массовая доля перманганата калия снизилась до 1,957%. Образовавшееся органическое вещество выделили из смеси и подвергли этерификации смесью первичных одноатомных предельных спиртов, в которой молярн-

ное отношение веществ равно 3 : 1. Пары смеси неэтерифицированного соединения и двух сложных эфиров имеют плотность при 400 °С и 101 кПа 2,068 г/л. При обработке натрием этой смеси выделилось 672 мл (н.у.) газа. Установите строение сложных эфиров и вычислите их массы.

2775. Смесь циклогексадиена и сложного эфира общей массой 2,52 г может вступить в реакцию с 200 г 3,20%-го раствора брома в тетрахлориде углерода или с 4,00 мл раствора с концентрацией гидроксида калия 5 моль/л. Установите формулу сложного эфира, если известно, что он образован одноосновной ненасыщенной карбоновой кислотой и предельным одноатомным спиртом.

2776. При сгорании смеси толуола и предельной одноосновной кетокислоты общей массой 3,56 г образовалось 3,584 л углекислого газа (н. у.). Та же смесь такой же массы может вступить в реакцию с 2,64 г диметилпропанола (при нагревании в кислой среде). Установите формулу кислоты и напишите формулу образующегося сложного эфира.

2777. Смесь уксусной кислоты и сложного эфира, образованного предельными соединениями, вступает в реакцию с 30,0 мл раствора с концентрацией гидроксида натрия 10,0 моль/л, при этом образуется смесь двух солей общей массой 21,8 г. Исходная смесь той же массы при взаимодействии с гидридом калия образует 2,24 л (н. у.) газа. Установите строение сложного эфира, если известно, что спирт и кислота могут получиться в одну стадию из одного и того же альдегида.

2778. Смесь монокарбоновой альдегидокислоты с неразветвленным скелетом и метилацетата общей массой 41,2 г может вступить в реакцию с 53,0 г насыщенного раствора гидроксида калия (растворимость KOH в условиях опыта 112 г в 100 г воды). Спирт, полученный в результате гидролиза, был превращен в простой эфир с выходом 90,0%. Объем простого эфира, измеренный при нормальном давлении и 25 °С, составил 3,86 л. Установите строение кислоты.

2779. Сложный эфир $C_6H_{12}O_2$ нагрели с водным раствором серной кислоты. В выделенной смеси трех органических веществ массовая доля не вступившего в реакцию эфира равна 56,5%, а массовая доля кислоты больше массовой доли спирта в 3,19 раза. Вычислите выход реакции гидролиза.

2780. Сложный эфир состава $C_7H_{14}O_2$ с неразветвленным углеродным скелетом обработали водным раствором гидроксида натрия при нагревании. В смеси летучих веществ, образовавшихся при выпаривании раствора, число первичных атомов углерода в 1,2 раза больше числа вторичных атомов углерода. Масса оставшегося после выпаривания пропионата натрия составила

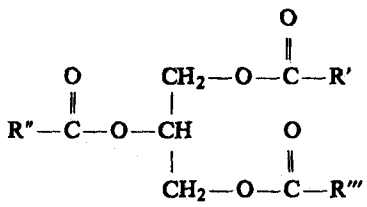
14,4 г. Вычислите массу сложного эфира, не вступившего в реакцию.

2781. Порцию *n*-ксилола, в которой содержится 4 моль вторичных атомов углерода, окислили в кислой среде; в реакцию вступило 1,44 моль перманганата калия. Выделенную смесь органических веществ обработали в кислой среде этанолом, который вступил в реакцию полностью. Из реакционной смеси выделили смесь трех сложных эфиров общей массой 107,9 г, в которой молярное соотношение эфиров равно 1 : 3 : 1,5 (в порядке возрастания молярных масс). Вычислите суммарную массу органических соединений, оставшихся после выделения сложных эфиров.

2782. Число вторичных атомов углерода в смеси предельного одноатомного спирта и альдегида, в которой этот спирт может быть окислен, равно 1 моль, а массовая доля кислорода — 27,0%. После окисления этой смеси перманганатом калия в кислой среде молярное соотношение спирт — альдегид увеличилось в 10 раз, а масса смеси органических веществ — на 10,28 г по сравнению с исходной смесью. Выделенную из смеси кислоту прохлорировали в присутствии красного фосфора, а продукт реакции обработали избытком метанола в кислой среде, получив при этом 15,0 г органического вещества. Вычислите выход последней реакции, принимая во внимание, что ни одна реакция не протекала с выходом 100%, а выход последней реакции в 2 раза меньше выхода предпоследней реакции.

3.10. ЖИРЫ

Жиры — полные сложные эфиры глицерина и карбоновых кислот (триацилглицерины):



В триацилглицеринах могут находиться остатки одинаковых кислот ($R' = R'' = R'''$), однако чаще всего жиры образованы остатками разных кислот (пальмитиновой, стеариновой, олеиновой, линолевой, линоленовой, масляной, миристиновой $CH_3-(CH_2)_{12}-COOH$, пальмитолеиновой $C_{15}H_{29}COOH$ и др). Подавляющее большинство кислот имеет неразветвленный угле-

родный скелет из четного числа атомов углерода, как правило, от 14 до 24 (наиболее распространенные 16 или 18).

Физические свойства жиров зависят от качественного состава кислот. При увеличении доли остатков ненасыщенных кислот температура плавления жира понижается. Такой же эффект вызывает и увеличение доли кислот с менее длинной углеродной цепочкой.

Жиры подвергаются гидролизу. Гидролиз может происходить как в кислой, так и в щелочной среде. В условиях организма гидролиз триацилглицеринов значительно ускоряется в присутствии ферментов.

Пример 75. Триацилглицерин (жир) количеством вещества 0,1 моль может вступить в реакцию (при определенных условиях) с 0,3 моль водорода. При щелочном гидролизе продукта гидрирования образуется только одна калиевая соль массой 88,2 г. Вычислите относительную молекулярную массу жира и приведите одну из возможных его формул.

Решение. Из условия задачи ясно, что в ходе реакции водород присоединяется по двойным связям остатков ненасыщенных карбоновых кислот, но восстановление по сложноэфирной связи не происходит.

Поскольку $\nu(H_2):\nu(\text{триацилглицерин})=0{,}3:0{,}1=3$, очевидно, что в молекуле триацилглицерина всего три связи C=C, но так как в состав триацилглицерина входят остатки только одной кислоты, ясно, что в каждом остатке будет только по одной связи C=C.

Запишем в общем виде уравнения реакции гидрирования исходного жира и реакции гидролиза продукта гидрогенизации:

$$\begin{array}{l} CH_2-O-C(O)-C_nH_{2n-1} \\ | \\ CH-O-C(O)-C_nH_{2n-1} \\ | \\ CH_2-O-C(O)-C_nH_{2n-1} \end{array} + 3H_2 \rightarrow \begin{array}{l} CH_2-O-C(O)-C_nH_{2n+1} \\ | \\ CH-O-C(O)-C_nH_{2n+1} \\ | \\ CH_2-O-C(O)-C_nH_{2n+1} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} CH_2-O-C(O)-C_nH_{2n+1} \\ | \\ CH-O-C(O)-C_nH_{2n+1} \\ | \\ CH_2-O-C(O)-C_nH_{2n+1} \end{array} + 3KOH \rightarrow \begin{array}{l} CH_2-OH \\ | \\ CH-OH \\ | \\ CH_2-OH \end{array} + 3C_nH_{2n+1}COOK$$

В соответствии со стехиометрическими соотношениями второй реакции $\nu(C_nH_{2n+1}COOK)=3\nu(\text{жир})=3\cdot 0{,}1=0{,}3$ моль.

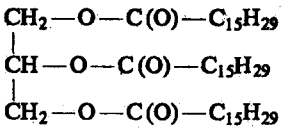
Вычислим молярную массу образовавшейся при гидролизе калиевой соли:

$$M(C_nH_{2n+1}COOK)=m(C_nH_{2n+1}COOK):\nu(C_nH_{2n+1}COOK);$$

$$M(C_nH_{2n+1}COOK)=88{,}2:0{,}3=294 \text{ г/моль}.$$

Найдем n: $14n+84=294$; $n=15$.

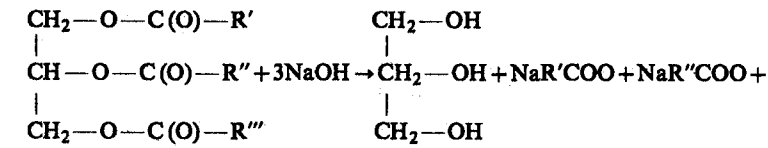
Таким образом, возможная формула жира:



Может существовать много изомеров, различающихся характером углеродного скелета и положением двойной связи, однако в природных жирах остаток $C_{15}H_{29}—CO$ отвечает пальмитолеиновой кислоте — кислоте с неразветвленным углеродным скелетом и двойной связью у C—9. Относительная молекулярная масса жира равна 800.

Пример 76. При полном щелочном гидролизе жира образовалась смесь солей общей массой 86,0 г. Массовая доля натрия в этой смеси равна 8,023%. Вычислите массу глицерина, образовавшегося в ходе гидролиза.

Решение. Запишем уравнение реакции щелочного гидролиза:



Вычислим количество вещества натрия в смеси солей:

$$\nu(\text{Na}) = m(\text{смесь})\omega(\text{Na}) : M(\text{Na});\ \nu(\text{Na}) = 86 \cdot 0{,}08023 : 23 = 0{,}3 \text{ моль}.$$

По уравнению реакции

$$\nu(\text{глицерин}) = {}^1/_3\nu(\text{Na}) = {}^1/_3 \cdot 0{,}3 = 0{,}1 \text{ моль}.$$

Вычислим массу глицерина:

$$m(\text{глицерин}) = M(\text{глицерин})\,\nu(\text{глицерин});\ m(\text{глицерин}) = 92 \cdot 0{,}1 = 9{,}2 \text{ г}.$$

Пример 77. Жир, образованный только одной предельной кислотой, подвергли частичному гидролизу. Масса полученного неполного сложного эфира (по двум OH-группам) составила 69,82% от массы исходного жира. Вычислите, какую часть от исходной массы жира (%) составляет сложный эфир, получаемый в результате дальнейшего гидролиза жира.

Решение. Представим формулу жира: $C_3H_5O_3(C_nH_{2n+1}CO)_3$. В ходе гидролиза образуется неполный сложный эфир по двум группам OH, формулу которого представим $C_3H_6O_3(C_nH_{2n+1}CO)_2$.

Выразим молярные массы обоих веществ:

$$M(\text{жир}) = 42n + 176;\ M(\text{неполный эфир}) = 28n + 148.$$

По условию задачи:

$$\frac{28n + 148}{42n + 176} = 0{,}6982;\ \text{откуда } n = 19.$$

Молярная масса исходного жира $C_3H_5O_3(C_{19}H_{39}CO)_3$ равна 974 г/моль.

В ходе дальнейшего гидролиза образуется другой неполный сложный эфир, теперь уже по одной группе OH. Молекулярная формула этого эфира $C_3H_7O_3(C_{19}H_{39}CO)$, а молярная масса 386 г/моль. Найдем отношение молярных масс: 386 : 974 = 0,396.

Таким образом, масса полученного сложного эфира составляет 39,6% от массы исходного жира.

ВОПРОСЫ, УПРАЖНЕНИЯ И ЗАДАЧИ

2783. Приведите формулы трех ненасыщенных жирных кислот, остатки которых наиболее часто входят в состав жиров.

2784. Приведите уравнение реакции гидрирования жидкого жира на конкретном примере.

2785. Приведите уравнение реакции синтеза трипальмитоилглицерина (жира, образованного тремя остатками пальмитиновой кислоты).

2786. Приведите два уравнения реакций гидролиза жиров, в ходе которых образуются линолеат (соль линолевой кислоты) натрия и линоленат (соль линоленовой кислоты) натрия в молярном отношении 1 : 2.

2787. Приведите формулы всех изомерных (кроме энантиомеров) олеоилпалмитоилстеароилглицеринов.

2788. Триацилглицерин образован остатками только кислоты состава $C_{17}H_{33}COOH$, у которой двойная связь находится между девятым и десятым углеродными атомами. Сколько пространственных изомеров (кроме энантиомеров) имеет такой триацилглицерин? Приведите формулы этих изомеров.

2789. Триацилглицерин образован двумя остатками пальмитиновой кислоты и остатком кислоты состава $C_{17}H_{31}COOH$, у которой двойные связи находятся у девятого и двенадцатого атомов углерода. Сколько пространственных изомеров (кроме энантиомеров) имеет такой триацилглицерин? Приведите формулы этих изомеров.

2790. Приведите формулы двух жиров, один из которых имеет в 2 раза больше пространственных изомеров (*цис-транс*), чем другой.

2791. Приведите пример уравнения реакции гидролиза жира, в ходе которого образуются три натриевые соли, причем число атомов водорода во всех солях разное. Жир не вступает в реакцию с иодом.

2792. Природный триацилглицерин (жир) имеет в своем составе остатки трех разных кислот. При гидролизе соединения, образующегося при гидрировании этого жира, получилась соль только одной кислоты. Приведите возможную формулу жира.

2793. Напишите две возможные структурные формулы жира, образованного кислотами с четным числом углеродных атомов. Известно, что в молекуле этого жира 100 атомов водорода и он вступает в реакцию с иодом в соотношении 1 : 5.

2794. Напишите две возможные структурные формулы жира, имеющего состав $C_{51}H_{94}O_6$ и образованного кислотами с четным числом атомов углерода.

2795. Напишите две возможные формулы жира, имеющего в молекуле 57 атомов углерода и вступающего в реакцию с иодом в соотношении 1 : 2. В составе жира имеются остатки кислот с четным числом атомов углерода.

2796. При сгорании 1 моль жира образуется 57 моль углекислого газа и 54 моль воды. Напишите две возможные формулы жира, образованного кислотами с четным числом атомов углерода.

2797. При сгорании 1 моль жира образуется 53 моль углекислого газа и 49 моль воды. Напишите две возможные формулы жира, образованного кислотами с четным числом атомов углерода.

2798. Приведите пример уравнения реакции синтеза жира, образованного тремя разными ненасыщенными кислотами с одинаковым числом атомов углерода.

2799. Приведите пример уравнения реакции гидролиза жира, в ходе которого образуются две разные калиевые соли, каждая из которых не обесцвечивает бромную воду.

2800. Приведите пример уравнения реакции гидролиза жира, в ходе которого образуются две кислоты с одинаковым числом углеродных атомов. Кислота, образующаяся в меньшем количестве, не реагирует с бромной водой.

2801. Приведите пример уравнения реакции синтеза жира, который способен вступать в реакцию с водородом в молярном соотношении 1 : 4 и состоит из остатков разных кислот с одинаковым числом атомов углерода.

2802. Приведите пример уравнения реакции гидролиза жира, в ходе которого образуются две кислоты с одинаковым числом атомов водорода. Кислота, образующаяся в большем количестве, не реагирует с бромной водой.

2803. Приведите пример уравнения реакции синтеза жира, который способен вступать в реакцию с водородом в молярном соотношении 1 : 5 и состоит из остатков двух кислот с одинаковым числом атомов углерода.

2804. Приведите пример уравнения реакции гидролиза жира, в ходе которого образуются натриевые соли. Число атомов водорода в одной из этих солей совпадает с числом атомов водорода во второй соли и с числом атомов углерода в третьей соли.

2805. Приведите молекулярную формулу ($C_xH_yO_z$), общую для жиров, имеющих в молекуле три связи C=C. Составьте уравнение реакции горения в общем виде таких жиров.

2806. Приведите молекулярную формулу, общую для жиров, имеющих в молекуле два остатка насыщенных кислот и один

остаток линолевой кислоты. Составьте уравнение реакции гидрирования в общем виде таких жиров.

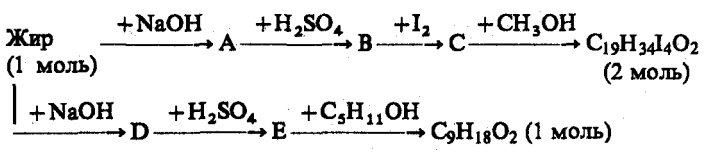
2807. Приведите молекулярную формулу, общую для жиров, имеющих в молекуле какую-либо насыщенную кислоту, линолевую и линоленовую кислоты. Составьте уравнение реакции горения в общем виде таких жиров.

2808. Приведите молекулярную формулу, общую для жиров, имеющих в молекуле остатки кислот только с одной и двумя C=C-связями, причем общее число C=C-связей нечетное. Составьте уравнение реакции гидрирования в общем виде таких жиров.

2809. Приведите молекулярную формулу, общую для жиров, имеющих в молекуле остатки кислот только с двумя и тремя C=C-связями, причем общее число C=C-связей четное. Составьте уравнение реакции гидратации в общем виде таких жиров.

2810. В двух неподписанных пробирках находятся растворы жиров в диэтиловом эфире: триолеилглицерина и трипальмитоилглицерина. Как распознать, где какое вещество находится?

2811. Составьте уравнения реакций по схеме:



2812. В одном объеме жира, имеющего плотность 0,85 г/мл, при н. у. растворяется один объем углекислого газа. Вычислите массовую долю углекислого газа в получившемся растворе.

2813. Вычислите, какую массу карбоната натрия следует взять для проведения гидролиза 34,6 г триацилглицерина, образованного остатками масляной, олеиновой и стеариновой кислот.

2814. Растительный жир массой 150 г, содержащий триолеилглицерин и 10,0% негидролизующихся примесей, подвергли кислотному гидролизу, который прошел с выходом 75,0%. Вычислите массы продуктов реакции.

2815. При кислотном гидролизе 41,6 г жира, образованного двумя остатками пальмитиновой кислоты и одним остатком олеиновой кислоты, было получено 3,68 г глицерина. Вычислите выход (%) реакции гидролиза.

2816. При кислотном гидролизе 299 г жира, образованного двумя остатками линолевой кислоты и одним остатком пальмитиновой кислоты, было получено 245 г смеси кислот. Вычислите выход (%) реакции гидролиза.

2817. При щелочном гидролизе жира образовалось 48,3 г стеарата калия и 96,0 г олеата калия. Вычислите, какая при этом образовалась масса глицерина.

2818. При полном кислотном гидролизе жира образовалось 55,6 г линоленовой кислоты и 9,20 г глицерина. Вычислите массу образовавшейся в ходе гидролиза олеиновой кислоты.

2819. При полном щелочном гидролизе жира образовалось 64,4 г глицерина и смесь солей пальмитиновой и стеариновой кислот в молярном соотношении 2:1. Вычислите, какая масса жира вступила в реакцию гидролиза.

2820. Две одинаковые порции трипальмитоилглицерина подвергли кислотному и щелочному гидролизу. Масса полученной кислоты оказалась на 30% меньше массы полученной натриевой соли. Вычислите, с каким выходом (%) прошла реакция кислотного гидролиза, если известно, что щелочной гидролиз прошел на 90%.

2821. Две одинаковые порции дипальмитоилстеароилглицерина подвергли кислотному и щелочному гидролизу. Масса смеси полученных натриевых солей оказалась на 15% больше массы смеси полученных кислот. Вычислите, с каким выходом (%) прошла реакция щелочного гидролиза, если известно, что кислотный гидролиз прошел на 70%.

2822. Две одинаковые порции жира, образованного только одной непредельной кислотой гомологического ряда акриловой кислоты, подвергли кислотному (выход 65%) и щелочному (выход 95%) гидролизу. Масса полученной кислоты составила 59,5% от массы полученной калиевой соли. Установите строение жира.

2823. В продуктах полного сгорания 1 моль жира количество вещества углекислого газа оказалось на 3 моль больше количества вещества воды. В каком молярном соотношении этот жир будет реагировать с бромом, растворенным в CCl_4?

2824. В продуктах полного сгорания 1 моль жира количество вещества оксида углерода (IV) оказалось на 8 моль больше количества вещества воды. В каком молярном соотношении этот жир будет вступать в реакцию с водородом (конечный продукт — сложный эфир глицерина)?

2825. В продуктах полного сгорания 2 моль жира количество вещества оксида углерода (IV) оказалось на 8 моль больше количества вещества воды. В каком молярном соотношении этот жир будет вступать в реакцию с бромоводородом?

2826. В продуктах полного сгорания 0,02 моль жира количество вещества воды составляет 1,02 моль, а углекислого газа — 1,06 моль. Какой объем воздуха (н. у.) был израсходован на горение?

2827. Жир образован остатками линоленовой и пальмитиновой кислот. Молярное соотношение продуктов полного сгорания

этого жира равно 1,17 : 1. Установите возможное строение этого жира (*приведите две возможные структурные формулы*).

2828. При гидролизе жира было получено три разных сложных эфира глицерина по двум гидроксильным группам. Каждый из них вступает в реакцию присоединения с водородом: один в молярном соотношении 1 : 3, другой — 1 : 4; третий — 1 : 5. При сжигании 0,01 моль жира образуется 8,64 г воды. Вычислите молярную массу жира.

2829. При гидролизе жира было получено три разных сложных эфира глицерина по двум гидроксильным группам. Каждый из них вступает в реакцию присоединения с водородом: один в молярном соотношении 1 : 1, другой — 1 : 3; третий — 1 : 4. При сжигании 0,02 моль жира образуется 23,74 л (н. у.) углекислого газа. Вычислите молярную массу жира.

2830. Образец жира может вступить в реакцию (при определенных условиях) с 0,4 моль водорода. Продукт гидрирования вступает в реакцию гидролиза с 0,6 моль NaOH, при этом образуется соль только одной кислоты; масса соли равна 183,6 г. Вычислите относительную молекулярную массу жира и приведите одну из возможных его формул.

2831. Образец жира может вступить в реакцию (при определенных условиях) с 0,05 моль водорода. Продукт гидрирования вступает в реакцию кислотного гидролиза. Масса продуктов гидролиза на 2,7 г больше массы вступившего в эту реакцию вещества. В результате гидролиза образовалась только одна кислота; масса кислоты равна 38,4 г. Вычислите молярную массу жира и приведите одну из возможных его формул.

2832. Жир нагрели в присутствии щелочи, в результате чего в образовавшейся смеси, помимо воды, оказалось шесть веществ: олеат натрия, соль предельной кислоты и четыре сложных эфира; суммарная масса сложных эфиров составила 485,8 г. Смесь солей после отделения эфиров нагрели с избытком бромоводорода, масса полученной смеси кислот оказалась на 9,7 г больше массы смеси солей. При обработке избытком натрия смеси сложных эфиров выделилось 15,68 л (н.у.) водорода. Для гидрирования смеси сложных эфиров требуется 71,4% выделившегося водорода. Установите строение исходного жира и вычислите его массу.

2833. Для гидрогенизации некоторого образца жира необходим 1 моль водорода. При нагревании продукта реакции гидрогенизации с водой при 200 °С образуется смесь глицерина и только одной кислоты общей массой 188,8 г. При обработке кислоты избытком раствора карбоната натрия выделяется 6,72 л (н. у.) газа. Вычислите молярную массу жира и приведите одну из возможных его формул.

2834. При частичном ферментативном гидролизе жира образовалось 113,6 г стеариновой кислоты и 227,2 г сложного эфира глицерина. При дальнейшем щелочном гидролизе этого эфира был получен глицерин массой 36,8 г и только одна соль предельной кислоты. Установите возможное строение этого жира (приведите две возможные структурные формулы).

2835. При частичном ферментативном гидролизе жира образовалось 128 г олеата калия и 66,0 г сложного эфира глицерина. При дальнейшем гидролизе этого эфира был получен глицерин массой 18,4 г. Установите возможное строение этого жира (приведите две возможные структурные формулы).

2836. Жир, образованный только одной предельной кислотой, подвергли частичному гидролизу. Масса полученного неполного сложного эфира (по одной ОН-группе) составляет 41,83% от массы исходного жира. Установите строение этого жира.

2837. Триолеоилглицерин подвергли частичному гидролизу, масса образовавшейся при этом смеси сложных эфиров глицерина составила 58,19% от массы исходного жира. Вычислите, какое количество вещества водорода может присоединить 1 кг такой смеси продуктов частичного гидролиза жира.

2838. Трилинолеоилглицерин массой 351,2 г подвергли частичному гидролизу, масса образовавшейся при этом натриевой соли оказалась равной 151 г. Вычислите максимальное количество вещества бромоводорода, которое может вступить в реакцию с образовавшейся смесью сложных эфиров глицерина.

2839. В смеси двух жиров молярное соотношение остатков линолевой, стеариновой и олеиновой кислот равно 1,2 : 1 : 0,2. Какая масса стеарата натрия образуется при гидролизе 1767 г смеси этих жиров?

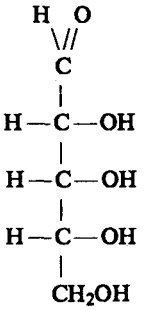
2840. Смесь двух жиров общей массой 100 г подвергли гидролизу. После отделения глицерина в смеси трех полученных кислот массовая доля пальмитиновой кислоты оказалась в 6,788 раз больше массовой доли масляной кислоты и в 1,731 раза меньше массовой доли олеиновой кислоты. Вычислите массу образовавшегося глицерина.

2841. Жир состава $C_nH_{2n-10}O_6$ нагрели в присутствии гидроксида бария, в результате чего в образовавшейся смеси, помимо воды, оказалось шесть веществ: соли предельной и непредельной кислот и четыре сложных эфира. Смесь солей после отделения эфиров нагрели со значительным избытком хлороводорода, масса полученной смеси кислот оказалась на 58,35 г меньше массы смеси солей. При обработке избытком гидрида натрия смеси сложных эфиров выделилось 44,8 л (н.у.) водорода. Для гидрирования смеси сложных эфиров требуется на 20% больше

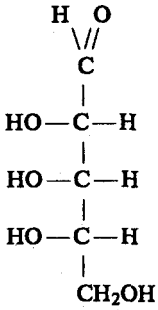
выделившегося водорода. Вычислите массу тринитроглицерина, которую можно теоретически получить из глицерина, образующегося в результате полного гидролиза смеси сложных эфиров.

3.11. УГЛЕВОДЫ

Углеводы — класс природных соединений, включающий моносахариды — полигидроксиальдегиды (альдозы) или полигидроксикетоны (кетозы), а также продукты их поликонденсации: дисахариды, олигосахариды и полисахариды. По числу атомов углерода в молекуле моносахариды делятся на тетрозы (C_4), пентозы (C_5), гексозы (C_6) и гептозы (C_7). Наиболее распространены в природе пентозы и гексозы. Все моносахариды имеют один или несколько асимметрических атомов углерода и поэтому имеют стереоизомеры. Нумерация цепи в углеводах начинается от атома углерода карбонильной группы (в альдозах) или от того атома углерода, к которому она ближе находится (в кетозах). Отнесение моносахаридов к D- или L-ряду проводится по расположению гидроксильной группы у последнего асимметрического атома. Покажем это на примере одной из важнейших альдопентоз — *рибозы*:

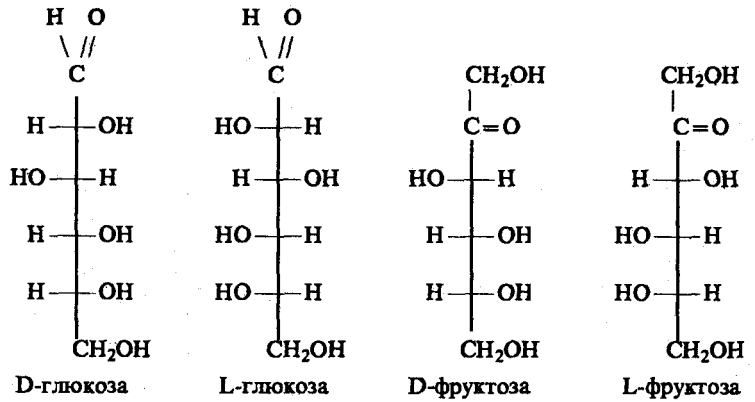


D-рибоза



L-рибоза

Углеводы часто записывают в виде проекционных формул. Углеродную цепь располагают вертикально таким образом, чтобы наверху находился атом углерода С-1. Асимметрические атомы углерода, располагающиеся в точках пересечения вертикальной линии с горизонтальными, символами не изображаются. Приведем проекционные формулы D- и L-изомеров двух наиболее распространенных моносахаридов — *глюкозы*, относящейся к альдогексозам, и *фруктозы*, являющейся примером кетогексоз:

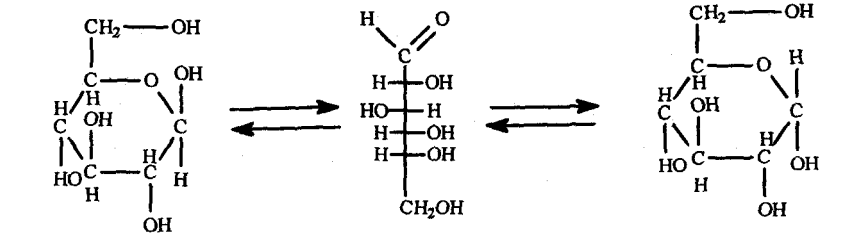


Формулы остальных моносахаридов D-ряда приведены в приложении.

Большинство моносахаридов отвечает составу $C_n(H_2O)_n$. Однако существуют и такие моносахариды, которые не отвечают такой формуле. Наиболее важный среди них — дезоксирибоза. У дезоксирибозы, в отличие от рибозы, отсутствует гидроксил у второго атома углерода.

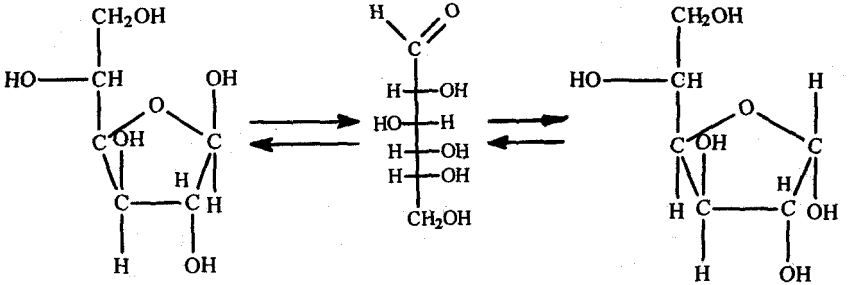
Моносахариды, как соединения, имеющие несколько гидроксильных групп, вступают в реакции, характерные для многоатомных спиртов: комплексообразование с гидроксидом меди (II) на холоду (интенсивное синее окрашивание), этерификации. Альдозы, как соединения, имеющие альдегидную группу, вступают в реакции серебряного зеркала, с гидроксидом меди (II) при нагревании (кирпично-красный осадок). Однако свойства, присущие альдегидам, не в полной мере имеются у моносахаридов. Так, они не вступают в реакцию с фуксинсернистой кислотой. Это объясняется тем, что моносахариды в растворе присутствуют в основном не в открытой (линейной) форме, которая приводилась выше, а в циклической. Циклические формы углеводов — продукты взаимодействия спиртового гидроксила и карбонильной группы, сопровождающееся образованием пятичленного или шестичленного цикла.

При циклизации альдогексоз атом углерода карбонильной группы атакуется ОН-группой либо у С-5, либо у С-4. В первом случае возникает шестичленный цикл, который называют пиранозным, во втором — пятичленный (фуранозный) цикл. В результате циклизации С-1 становится асимметрическим, поэтому различное расположение образующегося при нем полуацетального гидроксила отвечает двум разным стереоизомерам, которые имеют особое название — аномеры:



β-глюкоза
(в пиранозной форме)

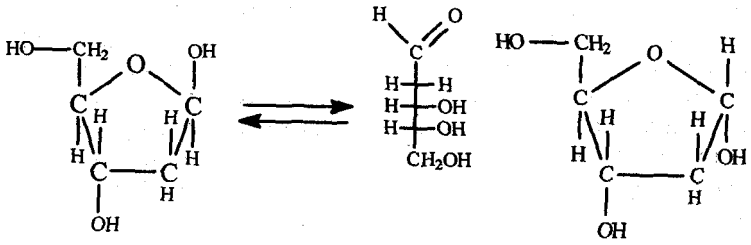
α-глюкоза
(в пиранозной форме)



β-глюкоза
(в фуранозной форме)

α-глюкоза
(в фуранозной форме)

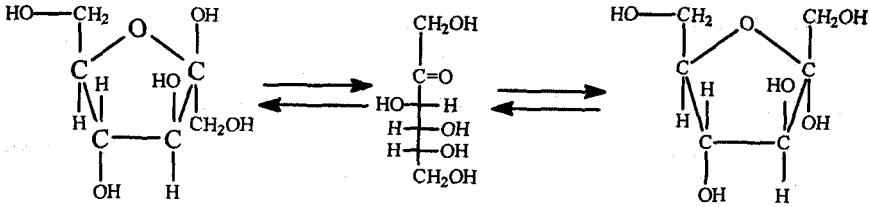
Все моносахариды, кроме тетроз, находятся преимущественно в пиранозной форме. Четыре циклические формы глюкозы, как и других гексоз, взаимопревращаемы (через линейную форму). Покажем образование фуранозных форм альдопентоз на примере дезоксирибозы:



β-дезоксирибоза

α-дезоксирибоза

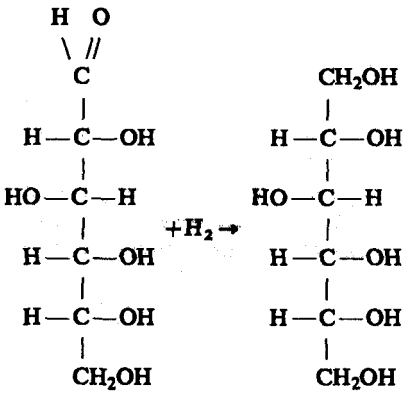
Пиранозные и фуранозные формы альдоз и кетоз — циклические полуацетали. Так, в случае фруктозы карбонильную группу (С-2) атакуют ОН-группы либо у С-5 (возникает фуранозный цикл), либо у С-6 (возникает пиранозный цикл). Покажем образование фуранозных циклов фруктозы:



Выше уже упоминались некоторые свойства моносахаридов. Рассмотрим их, а также некоторые другие на примере глюкозы. Глюкоза окисляется до глюконовой кислоты бромной водой:

$$C_6H_{12}O_6 + Br_2 + 2H_2O \rightarrow HOCH_2—[CH(OH)]_4—COOH + 2HBr$$

Окисление глюкозы, как и других альдоз, гидроксидом диамминсеребра (реакция серебряного зеркала) и гидроксидом меди (II) при нагревании сопровождается в отличие от альдегидов частичной деструкцией углеродного скелета; окисление в данном случае проходит нестехиометрично и не может быть описано конкретным уравнением. Уравнение реакции с образованием глюконовой кислоты, приводимое, к сожалению, во многих учебниках и пособиях, является ошибочным. Моносахариды как соединения, имеющие карбонильную группу, могут восстанавливаться до спиртов:



Для глюкозы характерны так называемые реакции брожения — сложные ферментативные реакции. Основные типы брожения:

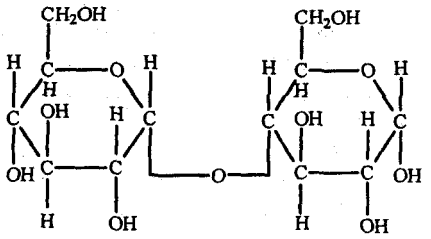
спиртовое — $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2$

молочнокислое — $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_3H_6O_3$

маслянокислое — $C_6H_{12}O_6 \rightarrow C_3H_7COOH + 2CO_2 + 2H_2$

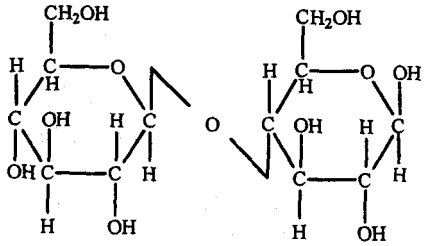
Олигосахариды — продукты конденсации нескольких (от 2 до 10) молекул моносахаридов. Олигосахариды — ацетали, образовавшиеся при взаимодействии полуацетального гидроксила одной молекулы моносахарида с гидроксильной группой другой молекулы того же или другого моносахарида. Связь, образующаяся между остатками моносахаридов, называется О-гликозидной связью. Гликозидные связи могут иметь α- и β-конфигурацию. Олигосахариды, в составе молекул которых находятся два остатка моносахаридов, называются дисахаридами.

Молекула *мальтозы* состоит из двух остатков D-глюкозы. Связь возникает между С-1 атомом остатка глюкозы в α-пиранозной форме и С-4 атомом другого остатка, который может находиться как в α-, так и в β-пиранозной форме. Такая гликозидная связь называется α-(1 → 4)-связью (в приведенной ниже формуле второй остаток показан также в α-пиранозной форме):



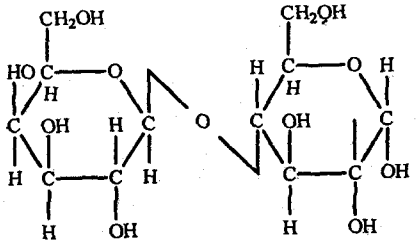
мальтоза

Молекула *целлобиозы* состоит из двух остатков D-глюкозы, соединенных β-(1 → 4)-связью. Принципиальное отличие этого дисахарида от мальтозы заключается в том, что полуацетальный гидроксил, принимающий участие в образовании гликозидной связи, имеет β-конфигурацию (в приведенной ниже формуле второй остаток показан также в β-пиранозной форме):



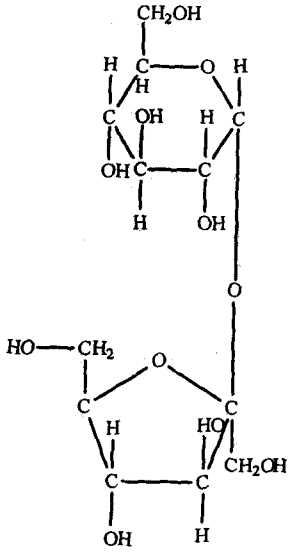
целлобиоза

Молекула *лактозы* состоит из остатков разных моносахаридов: D-галактозы и D-глюкозы. Остатки обоих моносахаридов, как и в двух предыдущих соединениях, находятся в пиранозной форме. В образовании гликозидной связи принимает участие полуацетальный гидроксил галактозы, имеющий β-конфигурацию, поэтому в молекуле лактозы, как и в молекуле целлобиозы, имеется β-(1 → 4)-связь (в приведенной ниже формуле полуацетальный гидроксил остатка глюкозы показан в α-пиранозной форме):



лактоза

Молекула *сахарозы* состоит из остатков α-D-глюкопиранозы и β-D-фруктофуранозы. Гликозидная связь возникает между С-1 атомом остатка глюкозы и С-2 атомом остатка фруктозы, т. е. в образовании гликозидной связи принимают участие оба полуацетальных гидроксила [(1 → 2)-связь]:



сахароза

В молекулах мальтозы, целлобиозы и лактозы осталось по одному полуацетальному гидроксилу; его наличие обусловливает способность этих углеводов к окислению, например, в реакции серебряного зеркала. Такие дисахариды называют восстанавливающими. Сахароза, в молекуле которой полуацетальный гидроксил отсутствует, относится к невосстанавливающим дисахаридам (в реакцию серебряного зеркала не вступает).

Дисахариды, как все ацетали, гидролизуются в кислой среде, в результате чего образуются моносахариды.

Полисахариды состоят из большого числа остатков моносахаридов. Наиболее важные полисахариды — крахмал, гликоген и целлюлоза. Все они построены из остатков одного моносахарида (D-глюкозы), т. е. они являются поли-D-глюкопиранозами.

Крахмал представляет собой смесь амилозы и амилопектина. Амилоза имеет неразветвленную полисахаридную цепь, состоящую из нескольких сотен или нескольких тысяч остатков α-D-глюкопиранозы, соединенных α-(1 → 4)-гликозидными связями. Значения относительной молекулярной массы амилозы колеблются от 50 000 до 500 000. Элементарным звеном полимерной цепи является остаток α-D-глюкопиранозы; дисахаридным фрагментом — мальтоза. Амилопектин отличается от амилозы разветвленным строением и значительно большим числом моносахаридных остатков, относительная молекулярная масса его достигает нескольких миллионов. Моносахаридные остатки, находящиеся в точке ветвления цепи, соединены с соседними звеньями не двумя гликозидными связями, а тремя; дополнительной является α-(1 → 6)-гликозидная связь. Крахмал — резервный полисахарид растений.

Целлюлоза также представляет собой поли-D-глюкопиранозу, однако ее дисахаридный фрагмент — целлобиоза. Целлюлоза — структурный полисахарид растений (главная составная часть клеточных стенок).

Резервный полисахарид животных, в том числе и человека, — *гликоген*. Его строение в целом повторяет строение амилопектина, различие заключается в большей (примерно в 2 раза) разветвленности цепи и значительно большем числе моносахаридных остатков. Относительная молекулярная масса гликогена достигает 100 млн.

Полисахариды, как и дисахариды, гидролизуются в кислой среде. Процесс можно передать следующей схемой:

$$(C_6H_{10}O_5)_n + nH_2O \rightarrow nC_6H_{12}O_6$$

Сложные эфиры целлюлозы с уксусной и азотной кислотами имеют важное промышленное значение. Общие формулы эфиров:

$[C_6H_7O_2(OH)_{3-x}(OCOCH_3)_x]_n$ $[C_6H_7O_2(OH)_{3-x}(ONO_2)_x]_n$

ацетаты целлюлозы нитраты целлюлозы

Пример 78. При гидролизе трисахарида образовалась смесь глюкозы и фруктозы. Масса вещества, которого образовалось меньше, равна 3,00 г. Вычислите, какая масса воды вступила в реакцию.

Решение. Запишем в виде схемы процесс гидролиза трисахарида:

$$\text{Трисахарид} + 2H_2O \rightarrow \text{Моносахарид}_1 + 2\text{Моносахарид}_2$$

Глюкоза и фруктоза — структурные изомеры; молярные массы обоих соединений равны 180 г/моль. Вычислим количество вещества того моносахарида, которого образовалось меньше:

$$\nu(\text{Моносахарид}_1) = m(\text{Моносахарид}_1) : M(\text{Моносахарид}_1);$$

$$\nu(\text{Моносахарид}_1) = 3 : 180 = 0{,}01667 \text{ моль}.$$

В соответствии с уравнением реакции

$$\nu(H_2O) = 2\nu(\text{Моносахарид}_1);$$

$$\nu(H_2O) = 2 \cdot 0{,}01667 = 0{,}03333 \text{ моль и } m(H_2O) = 18 \cdot 0{,}03333 = 0{,}6 \text{ г}.$$

Пример 79. При полном гидролизе сложного эфира рибозы образовалась смесь калиевых солей муравьиной и масляной кислот. Массовая доля калия в смеси солей оказалась больше 40,0%. Установите состав сложного эфира и его возможное строение.

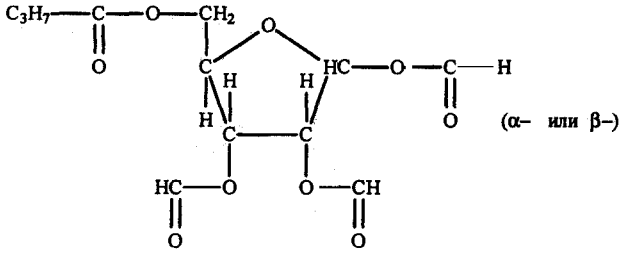
Решение. Примем, что $\nu(KHCOO) = x$; $\nu(KC_3H_7COO) = y$. Тогда

$$m(KHCOO) = 84x;\ m(KC_3H_7COO) = 126y;\ m(K) = 39(x+y).$$

По условию задачи:

$$\frac{m(K)}{m(KHCOO) + m(KC_3H_7COO)} > 0{,}4 \text{ г}; \qquad \frac{39(x+y)}{84x+126y} > 0{,}4.$$

Преобразуя полученное неравенство, получаем: $x > 2{,}11y$. Поскольку в полном сложном эфире рибозы суммарное число остатков кислот равно 4, единственное решение приведенного неравенства будет: $y = 1$; $x = 3$, т. е. эфир образован одним остатком масляной кислоты и тремя остатками муравьиной кислоты. Один из возможных изомеров:



Пример 80. Вычислите объем 95,0%-го раствора уксусной кислоты (пл. 1,06 г/мл), который необходим для получения 25,0 г диацетата целлюлозы с выходом 0,750.

Решение. Запишем уравнение реакции этерификации:

$$[C_6H_7O_2(OH)_3]_n + 2nCH_3COOH \rightarrow [C_6H_7O_2(OH)(OCOCH_3)_2]_n + 2nH_2O$$

Количество вещества диацетата целлюлозы (ДАЦ) равно:

$$\nu(\text{ДАЦ}) = m(\text{ДАЦ}) : M(\text{ДАЦ});\ \nu(\text{ДАЦ}) = 25 : 246n = 0{,}1016/n.$$

По уравнению реакции

$$\nu(CH_3COOH) = 2n\nu(\text{ДАЦ});\ \nu(CH_3COOH) = 2n\frac{0{,}1016}{n} = 0{,}2032 \text{ моль}.$$

С учетом выхода реакции нужно взять 0,2032 : 0,75 = 0,2709 моль уксусной кислоты.

Таким образом, объем раствора уксусной кислоты равен:

$$V(CH_3COOH,\text{р-р}) = \frac{M(CH_3COOH)\,\nu(CH_3COOH)}{\rho(CH_3COOH,\text{р-р})\,\omega(CH_3COOH)};$$

$$V(CH_3COOH,\text{р-р}) = \frac{60 \cdot 0{,}2709}{1{,}06 \cdot 0{,}95} = 16{,}1 \text{ мл}.$$

ВОПРОСЫ, УПРАЖНЕНИЯ И ЗАДАЧИ

2842. Какие вещества называются углеводами? Как они классифицируются по строению?

2843. Как классифицируются моносахариды по числу углеродных атомов, по характеру функциональных групп? Приведите примеры.

2844. Охарактеризуйте физические свойства глюкозы, крахмала, целлюлозы.

2845. Приведите формулу углевода, являющегося кетоноспиртом, и назовите его.

2846. Приведите пример углевода, состав которого не отвечает формуле $C_n(H_2O)_m$.

2847. Какой углевод входит в состав РНК? Приведите структурные формулы этого углевода в открытой и циклической формах.

2848. Какой углевод входит в состав ДНК? Приведите структурные формулы этого углевода в открытой и циклической формах.

2849. Чем отличаются по строению крахмал и гликоген?

2850. В чем заключается разница в строении крахмала и целлюлозы?

2851. Чем отличаются между собой по отношению к воде сахароза, целлюлоза и крахмал?

2852*. Приведите структурную формулу мальтозы и ее природного изомера, не дающего реакцию серебряного зеркала.

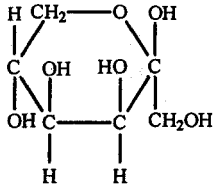
2853*. Приведите структурную формулу мальтозы и ее природного изомера, дающего реакцию серебряного зеркала.

2854*. Напишите фуранозные формы следующих углеводов: а) арабинозы; б) талозы; в) ксилулозы; г) сорбозы.

2855*. Напишите пиранозные формы следующих углеводов: а) идозы; б) D-гулозы; в) ликсозы.

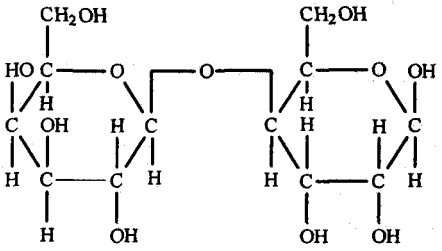
2856*. Приведите формулы углеводов: а) L-глюкозы (открытая форма); α-D-глюкофуранозы; б) L-галактозы (открытая форма); β-D-галактопиранозы; в) L-рибозы (открытая форма); α-D-рибофуранозы; г) L-фруктозы (открытая форма); β-D-фруктофуранозы; д) L-дезоксирибозы (открытая форма); α-D-дезоксирибофуранозы; е) L-тагатозы (открытая форма); β-D-тагатофуранозы; ж) α-D-маннопиранозы; β-D-маннофуранозы.

2857*. Ниже приведена формула углевода



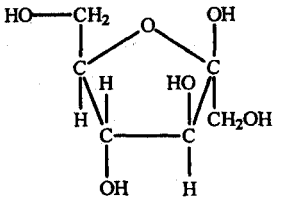
а) назовите, формула какого углевода приведена; б) напишите формулу этого углевода в открытой L-форме; в) приведите формулу любого дисахарида, который образует этот углевод с глюкозой.

2858*. Ниже приведена формула дисахарида



а) какими моносахаридами образован этот дисахарид; б) приведите для одного из моносахаридов открытую L-форму, а для другого — фуранозную форму (α-конфигурацию).

2859*. Ниже приведена формула углевода



а) формула какого углевода приведена; б) приведите формулу этого углевода в открытой L-форме; в) приведите формулу любого дисахарида, который образует этот углевод с дезоксирибозой.

2860*. Приведите формулу лактозы. Напишите формулы двух других дисахаридов, образованных остатками тех же моносахаридов, что и лактоза. Напишите для одного из моносахаридов открытую L-форму.

2861*. Приведите для маннозы: а) открытую L-форму; б) α-пиранозную форму; в) β-фуранозную форму; г) любой дисахарид с рибозой.

2862*. Приведите для сорбозы: а) открытую L-форму; б) β-пиранозную форму; в) α-фуранозную форму; г) любой дисахарид с галактазой.

2863*. Приведите структурную формулу сахарозы. Какие моносахариды образует этот дисахарид? Напишите для одного из них циклическую форму с большим числом атомов в цикле, а для другого — с меньшим числом. Для обоих моносахаридов напишите открытые L-формы.

2864*. Приведите формулы дисахаридов:

а) D-манноза [пираноза] α-(1 → 3) D-сорбоза [фураноза];

б) D-гулоза [пираноза] α-(1 → 4) D-тагатоза [фураноза];

в) D-фруктоза [фураноза] β-(2 → 6) D-гулоза [пираноза];

г) D-рибоза [фураноза] α-(1 → 4) D-аллоза [пираноза];

д) D-дезоксирибоза [фураноза] β-(1 → 6) D-идоза [пираноза];

е) D-псикоза [фураноза] β-(2 → 4) D-галактоза [пираноза].

2865*. Приведите формулу полисахарида, состоящего из остатков D-арабинозы [в фуранозной форме], связанных α-(1 → 5)-связью. Выделите дисахаридный фрагмент. Оцените величину M_r полимера при степени полимеризации 2 500.

2866*. Приведите формулу полисахарида, состоящего из остатков D-ксилозы (в фуранозной форме), связанных β-(1 → 3)-связью. Выделите дисахаридный фрагмент. Оцените величину M_r полимера при степени полимеризации 1 500.

2867. При каких условиях был осуществлен синтез углевода из формальдегида? Приведите уравнение реакции.

2868. Приведите суммарное уравнение процесса, протекающего в природе при синтезе глюкозы в растениях.

2869. Не приводя уравнений реакций, охарактеризуйте способность глюкозы вступать в окислительно-восстановительные реакции.

2870. Приведите уравнение реакции брожения глюкозы, не сопровождающегося выделением газообразных продуктов.

2871. Приведите два уравнения реакции брожения глюкозы, в ходе которой образуются газообразные вещества.

2872. Приведите два уравнения реакции брожения глюкозы, в ходе которой образуются кислоты.

2873. Приведите уравнения реакций: а) образования сахарата кальция; б) взаимодействия сахарата кальция с углекислым газом.

2874. Приведите уравнения реакций: а) гидролиза сахарозы; б) гидролиза крахмала.

2875. Приведите уравнения реакций сахарозы с концентрированной серной кислотой: а) обугливания; б) полного окисления.

2876. Какие промежуточные продукты образуются при гидролизе крахмала?

2877. С помощью какой реакции можно доказать наличие крахмала?

2878. Приведите формулу любого сложного эфира целлюлозы и уксусной кислоты и назовите его.

2879. Приведите схему реакции образования динитрата целлюлозы.

2880. Какой реактив используют для растворения целлюлозы?

2881. Какие продукты получаются при нагревании древесины без доступа воздуха?

2882. Приведите пример использования углеводов в медицине.

2883. Приведите структурную формулу изомера глюкозы, имеющего в молекуле одну карбоксильную группу.

2884. Приведите структурную формулу нециклического изомера дезоксирибозы, имеющего в молекуле только две гидроксильные группы.

2885. Приведите структурную формулу нециклического изомера рибозы, не имеющего в молекуле ни альдегидной, ни кетонной группы.

2886. Приведите структурную формулу изомера сахарозы, имеющего в молекуле две карбоксильные группы.

2887. Какой из природных моносахаридов имеет только шесть изомерных друг другу дипропионатов (имеются в виду структурные, а не пространственные изомеры)? Приведите формулу одного из изомеров.

2888. Какой из природных моносахаридов имеет только три изомерных друг другу диацетата (имеются в виду структурные, а не пространственные изомеры)? Приведите формулу одного из изомеров.

2889. Какой из природных моносахаридов имеет больше шести изомерных друг другу триацетатов (имеются в виду структурные, а не пространственные изомеры)? Приведите формулу одного из изомеров.

2890. Какой из природных моносахаридов имеет только четыре изомерных друг другу трипропионата (имеются в виду структурные, а не пространственные изомеры)? Приведите формулу одного из изомеров.

2891. Какой из природных моносахаридов имеет только пять изомерных друг другу тетрастеаратов (имеются в виду структурные, а не пространственные изомеры)? Приведите формулу одного из изомеров.

2892. Приведите молекулярную формулу ($C_xH_yO_z$), общую для полных сложных эфиров рибозы (т. е. по всем гидроксильным группам) и карбоновых кислот гомологического ряда муравьиной кислоты. Составьте уравнение реакции горения в общем виде таких сложных эфиров.

2893. Приведите молекулярную формулу, общую для полных сложных эфиров дезоксирибозы и карбоновых кислот гомологического ряда акриловой кислоты. Составьте уравнение реакции горения в общем виде таких сложных эфиров.

2894. Приведите молекулярную формулу, общую для полных сложых эфиров глюкозы и карбоновых кислот гомологического ряда бензойной кислоты. Составьте уравнение реакции горения в общем виде таких сложных эфиров.

2895. Приведите молекулярную формулу, общую для сложных эфиров сахарозы, имеющих в молекуле один остаток кислоты гомологического ряда муравьиной кислоты и один остаток гомологического ряда акриловой кислоты. Составьте уравнение реакции горения в общем виде такого сложного эфира.

2896. Приведите молекулярную формулу, общую для сложных эфиров мальтозы, имеющих в молекуле один остаток ароматической кислоты гомологического ряда бензойной кислоты и один остаток молочной кислоты. Составьте уравнение реакции горения в общем виде такого сложного эфира.

2897. В гомологах этиленгликоля обе гидроксильные группы этерифицированы остатками глюконовой кислоты. Приведите

молекулярную формулу ($C_xH_yO_z$), общую для таких сложных эфиров, и структурную формулу одного из соединений, отвечающих этой формуле.

2898. В этиленгликоле одна гидроксильная группа этерифицирована гомологом глюконовой кислоты. Приведите молекулярную формулу ($C_xH_yO_z$), общую для таких сложных эфиров, отличающихся друг от друга числом атомов углерода, и структурную формулу одного из соединений, отвечающих этой формуле.

2899. Глюконовая кислота этерифицирована гомологом глицерина. Приведите молекулярную формулу ($C_xH_yO_z$), общую для таких сложных эфиров, отличающихся друг от друга числом атомов углерода, и структурную формулу одного из соединений, отвечающих этой формуле.

2900. Сколько гидроксильных групп в молекуле глюконовой кислоты этерифицированы насыщенными одноосновными кислотами в сложных эфирах с общей формулой $C_nH_{2n-4}O_9$? Приведите структурную формулу одного из соединений, отвечающих этой формуле.

2901. В глюконовой кислоте две гидроксильные группы этерифицированы одной и той же кислотой. Этот сложный эфир имеет состав $C_{12}H_{16}O_9$. Приведите возможную структурную формулу этого эфира.

2902. Напишите уравнение реакции, протекающей при нагревании смеси твердых нитрата аммония и дезоксирибозы.

2903. Напишите уравнения реакций, протекающих при нагревании с избытком нитрата натрия следующих углеводов: а) глюкозы; б) рибозы; в) дезоксирибозы.

2904. Углевод А и спирт В, получающийся при восстановлении углевода В, имеют в молекуле одинаковое число атомов кислорода. Общее число атомов в А и В различается на 1. Предложите возможные структуры А и В. Приведите по одному примеру уравнений реакций, в которые вступает только: а) углевод А; б) углевод А и спирт В.

2905. Какие из перечисленных ниже веществ могут вступать между собой в окислительно-восстановительную реакцию: дезоксирибоза, водород, диметиловый эфир, натрий, гидроксид железа (III), тристеарат глицерина?

2906. При кислотном гидролизе смеси веществ состава $C_{10}H_{18}O_7$ и $C_{10}H_{16}O_7$ образовались два вещества с одинаковым числом атомов углерода в молекулах. Приведите возможное строение соединений и напишите уравнения реакций с использованием структурных формул.

2907. При кислотном гидролизе смеси веществ состава $C_{10}H_{18}O_9$ и $C_{10}H_{14}O_{10}$ образовались два вещества с одинаковым числом атомов углерода в молекулах. Приведите возможное

строение соединений и напишите уравнения реакций с использованием структурных формул.

2908. При кислотном гидролизе смеси веществ состава $C_{12}H_{22}O_{11}$ и $C_{12}H_{20}O_9$ образовались два вещества с одинаковым числом атомов углерода в молекулах. Приведите возможное строение соединений и напишите уравнения реакций с использованием структурных формул.

2909. При кислотном гидролизе смеси веществ состава $C_{12}H_{22}O_{13}$ и $C_{12}H_{20}O_{10}$ образовались два вещества с одиаковым числом атомов углерода в молекулах. Приведите возможное строение соединений и напишите уравнения реакций с использованием структурных формул.

2910. При кислотном гидролизе смеси веществ состава $C_{12}H_{22}O_{12}$ и $C_{12}H_{18}O_{13}$ образовались два вещества с одинаковым числом атомов углерода в молекулах. Приведите возможное строение соединений и напишите уравнения реакций с использованием структурных формул.

2911. При кислотном гидролизе смеси веществ состава $C_6H_{12}O_6$ и $C_6H_{10}O_7$ образовались два вещества с одинаковым числом атомов углерода в молекулах. Приведите возможное строение соединений и напишите уравнения реакций с использованием структурных формул.

2912. Из глюкозы, не прибегая к другим углеродсодержащим соединениям, получите два сложных эфира, в состав молекул которых входят по пять атомов углерода.

2913. Из глюкозы, не прибегая к другим углеродсодержащим соединениям, получите сложный эфир с 16 атомами углерода. Напишите уравнения реакций.

2914. Из глюкозы, не прибегая к другим углеродсодержащим соединениям, получите метилбутират. Напишите уравнения реакций.

2915. Из глюкозы, не используя другие углеродсодержащие вещества, получите этиленгликоль. Напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания.

2916. Из глюкозы, не используя другие углеродсодержащие вещества, получите этиловый эфир молочной кислоты. Напишите уравнения реакций.

2917. Из глюкозы, не используя другие углеродсодержащие вещества, получите кальциевую соль дихлоруксусной кислоты. Напишите уравнения реакций.

2918. Из глюкозы, не прибегая к другим углеродсодержащим соединениям, получите бензойную кислоту. Напишите уравнения реакций.

2919. Из глюкозы, не прибегая к другим углеродсодержащим соединениям, получите сложный эфир с 8 атомами углерода в молекуле. Напишите уравнения реакций.

2920*. Из глюкозы, не прибегая к другим углеродсодержащим соединениям, получите щавелевую кислоту. Напишите уравнения реакций.

2921*. Из глюкозы, не прибегая к другим углеродсодержащим соединениям, получите янтарную кислоту. Напишите уравнения реакций.

2922. Из сахарозы, не используя другие углеродсодержащие вещества, получите пентаацетат глюкозы. Напишите уравнения реакций.

2923. Из глюкозы, не используя другие углеродсодержащие вещества, получите два соединения: $C_5H_{10}O_3$ и $C_5H_8O_4$. Напишите уравнения реакций.

2924. Имея сахарозу, серную кислоту, гидроксид калия, воду и 1,5-дихлорпентан, получите эфир масляной кислоты и пентанола-2. Выбор катализаторов и процессов не ограничен.

2925. Имея мальтозу, соляную кислоту, гидроксид натрия, воду и 1,6-дибромгексан, получите эфир масляной кислоты и циклогексанола. Выбор катализаторов и процессов не ограничен.

2926. Имея крахмал, акриловую кислоту, перманганат калия, бромид натрия, воду и серную кислоту, получите сложный эфир этиленгликоля и 2,3-дибромпропановой кислоты, не прибегая к электролизу. Выбор катализаторов не ограничен.

2927. Имея глюкозу, метакриловую кислоту, хлор, натрий, перманганат калия и воду, получите сложный эфир бутандиола-2,3 и 3-хлор-2-метилпропановой кислоты, не прибегая к электролизу. Выбор катализаторов не ограничен.

2928. Имея целлюлозу, 4-метилбензойную кислоту, хлороводород, перманганат калия, оксид серы (VI), гидроксид натрия и воду, получите диметиловый эфир терефталевой кислоты, не прибегая к электролизу. Выбор катализаторов не ограничен.

2929. Имеются сахароза, вода и изопропиловый эфир акриловой кислоты. Получите с помощью только этих веществ, не прибегая к электролизу, два изомерных друг другу соединения, имеющих формулу $C_nH_{2n}O_3$. Выбор катализаторов не ограничен.

2930. Имеются сахароза, натрий, вода и изобутиловый эфир метакриловой кислоты. Получите с помощью только этих веществ, не прибегая к электролизу, два изомерных друг другу соединения, имеющих формулу $C_nH_{2n-1}O_2Na$. Выбор катализаторов не ограничен.

2931. Имеются сахароза, серная кислота, калий, перманганат калия, вода, сложный эфир муравьиной кислоты и бутандиола-2,3. Получите с помощью только этих веществ два изомерных друг другу соединения, имеющих формулу $C_nH_{2n}O_2K_2$. Выбор катализаторов не ограничен.

2932. Имеются мальтоза, серная кислота, вода и пропиловый эфир акриловой кислоты. Получите с помощью только этих веществ, не прибегая к электролизу, два изомера состава $C_nH_{2n-2}O_4$. Выбор катализаторов не ограничен.

2933. Имеются мальтоза, серная кислота, бромоводород, хлорид натрия, вода и 1-бромбутин-1. Получите с помощью только этих веществ, не прибегая к электролизу, два изомерных друг другу соединения, имеющих формулу $C_nH_{2n-1}Br_2Cl$. Выбор катализаторов не ограничен.

2934. Имеются серная кислота и вода. Добавьте к ним по одной природной пентозе и гексозе и получите с помощью только этих веществ, не прибегая к электролизу, полный сложный эфир состава $C_{21}H_{36}O_8$. Выбор катализаторов не ограничен.

2935. Имеются мальтоза, вода, бромоводород и натрий. Получите с помощью только этих веществ 3,4-диметилгексан. Выбор катализаторов и процессов не ограничен.

2936. Имеются целлюлоза, вода и хлор. Получите с помощью только этих веществ хлорбензол. Выбор катализаторов и процессов не ограничен.

2937. Имеются крахмал, вода, азотная кислота. Получите с помощью только этих веществ нитробензол. Выбор катализаторов и процессов не ограничен.

2938. Органическое вещество А можно получить в одну стадию либо из одного из углеводов, либо кислотным гидролизом соединения, содержащего нитрогруппу. Приведите структуру А с минимально возможным числом атомов углерода. Напишите уравнения упомянутых реакций, а также уравнение реакции А с уксусной кислотой в молярном соотношении 1 : 4.

2939. Из природного полимера А можно в результате последовательно протекающих реакций гидролиза и восстановления получить шестиатомный спирт В. Напишите уравнения обеих реакций (один из возможных вариантов ответа).

2940. Из природного полимера А в результате последовательно протекающих реакций гидролиза и этерификации можно получить сложный эфир В, в молекуле которого имеются пять остатков карбоновой кислоты. Напишите уравнения обеих реакций (один из возможных вариантов ответа).

2941. Получите вещество X с помощью реакций: а) окисления; б) гидрирования; в) брожения. Напишите уравнения этих реакций (один из возможных вариантов ответа).

2942. Напишите уравнения реакций по схеме:

$$\text{Сахароза} \xrightarrow{\text{гидролиз}} X \xrightarrow{\text{брожение}} Y \xrightarrow{+\text{этиленгликоль}} Z \text{ состава } C_6H_{12}O_3$$

2943. Напишите уравнения реакций по схеме:

$$\text{Глюкоза} \xrightarrow{\text{брожение}} X \xrightarrow{\text{окисление}} Y \xrightarrow{+\text{глицерин}} Z \text{ состава } C_9H_{14}O_6$$

2944. Напишите уравнения реакций по схеме:

$$\underset{1\text{ моль}}{\text{Глюкоза}} \xrightarrow[[Pt,\ p]]{H_2} X \xrightarrow{S_N} Y \xrightarrow{+O_2} Z \xrightarrow{+Ca(OH)_2\ (\text{водн})} \underset{4\text{ моль}}{Ca(HCO_3)_2}$$

2945. Напишите уравнения реакций по схеме:

$$\underset{1\text{ моль}}{\text{Сахароза}} \xrightarrow{\text{гидролиз}} X \xrightarrow{\text{брожение}} Y \xrightarrow{+\text{молочная к-та}} Z \xrightarrow[7\text{ моль}]{+O_2} CO_2$$

2946. Напишите уравнения реакций по схеме:

$$\underset{2\text{ моль}}{\text{Дезоксирибоза}} \xrightarrow{+\text{бромная вода}} X \xrightarrow[[t,\ H^+]]{+\text{этиленгликоль}} Y \xrightarrow[[t]]{+NaNO_3\ (\text{т})} Z \xrightarrow{Ba(OH)_2\ (\text{водн})}$$

$$\xrightarrow{Ba(HCO_3)_2} (6\text{ моль})$$

2947. Напишите уравнения реакций по схеме:

$$\underset{1\text{ моль}}{\text{Глюкоза}} \xrightarrow[[\text{фермент}]]{} X \begin{cases} \xrightarrow[[t]]{+H_2SO_4\ (\text{конц})} Y \xrightarrow{+KMnO_4\ (\text{водн})} C_2H_6O_2 \\ \xrightarrow[[t]]{H_2SO_4\ (\text{конц})} Z \xrightarrow[5\text{ моль}]{+O_2} H_2O \end{cases}$$

2948*. Напишите уравнения реакций по схеме:

$$\underset{1\text{ моль}}{\text{Рибоза}} \xrightarrow[[Pt,\ p]]{+H_2} X \xrightarrow{S_N} Y \xrightarrow{+O_2} Z \xrightarrow[11\text{ моль}]{+NaOH\ (\text{водн})} NaHCO_3$$

2949*. Напишите уравнения реакций по схеме:

$$\text{Целлюлоза} \xrightarrow{\text{гидролиз}} X \xrightarrow{\text{брожение}} Y \xrightarrow{S_N} Z \text{ состава } C_6H_{10}O_4$$

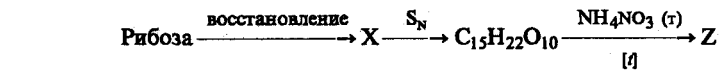
2950*. Напишите уравнения реакций по схеме:

$$\text{Глюкоза} \xrightarrow{\text{брожение}} X \xrightarrow{\text{дегидратация}} Y \xrightarrow{\text{окисление}} Z \text{ (вступает в реакции } S_N)$$

2951*. Напишите уравнения реакций по схеме:

$$\text{Мальтоза} \xrightarrow{\text{гидролиз}} X \xrightarrow{\text{брожение}} Y \xrightarrow{\text{окисление}} Z \text{ (вступает в реакции } A_N)$$

2952*. Напишите уравнения реакций по схеме:



Моносахариды

2953. Образовавшийся в результате спиртового брожения глюкозы этанол (выход 90,0%) окислили до кислоты (выход 95,0%). При действии на полученную кислоту избытка гидрокарбоната аммония выделился газ объемом 10,4 л (95 кПа, 25 °С). Вычислите массу глюкозы, взятую для брожения.

2954. При маслянокислом брожении глюкозы образовалось 8,96 л смеси газообразных веществ (н. у.). Какая масса глюкозы была взята для проведения брожения, если известно, что выход реакции брожения составил 55%?

2955. При брожении глюкозы образовалась смесь кислот, для нейтрализации которой было затрачено 135 мл раствора гидроксида калия ($c = 1{,}5$ моль/л), и 0,1792 л газообразных продуктов (н. у.). Рассчитайте, какая часть исходной массы глюкозы подверглась молочнокислому брожению, а какая — маслянокислому.

2956. Количество вещества углекислого газа, образующегося при сжигании образца смеси глюкозы и дезоксирибозы, больше количества вещества дезоксирибозы в 7 раз. Вычислите массовую долю дезоксирибозы в исходной смеси.

2957. Для нейтрализации смеси, полученной после окисления глюкозы бромной водой и удаления избытка брома, было израсходовано 50 мл раствора гидроксида калия с концентрацией 0,1 моль/л. Какую массу глюкозы подвергли окислению?

2958. Порцию глюкозы, дающую при сгорании 3 моль углекислого газа, подвергли брожению. Образовавшийся этанол затем с 80,0%-м выходом подвергли межмолекулярной дегидратации, при этом получили 11,84 г простого эфира. Вычислите, с каким выходом (%) прошла реакция спиртового брожения углевода.

2959. Порцию глюкозы разделили на две равные части; одну из них подвергли спиртовому брожению, а другую — молочнокислому. Массы кислоты и спирта оказались равными. Известно, что одна из реакций прошла с выходом 80,0%. Вычислите выход (%) второй реакции.

2960. Порцию глюкозы разделили на две равные части; одну из них подвергли маслянокислому брожению, а другую — молочнокислому. Массы кислот оказались равными. Известно, что одна из реакций прошла с выходом 75,0%. Вычислите выход второй реакции.

2961. Порцию глюкозы, содержащую 1 моль атомов, подвергли брожению; образовавшийся этанол дегидратировали, в результате чего выделилось 252 мл (н. у.) газа. После удаления всех неорганических веществ выделили смесь спирта и простого эфира общей массой 1,392 г. Массовая доля спирта в этой смеси в 8,67 раза меньше массовой доли простого эфира. Вычислите выходы (%) всех реакций.

2962. При гидролизе сложного эфира дезоксирибозы образовалась смесь уксусной и капроновой кислот, в которой массовая доля уксусной кислоты больше массовой доли капроновой кислоты. Установите состав сложного эфира и его возможное строение (два изомера).

2963. При полном гидролизе сложного эфира рибозы образовалась смесь ацетата натрия и пальмитата натрия. Массовая доля натрия в этой смеси солей оказалась меньше 11,0%. Вычислите возможные значения массы уксусной кислоты, образующейся в результате кислотного гидролиза исходного эфира массой 50,0 г.

2964. При щелочном гидролизе полного сложного эфира дезоксирибозы получена смесь двух солей кислот, относящихся к одному гомологическому ряду. Массовая доля моносахарида в этой смеси равна 29,39%, а ацетата калия — 21,49%. Установите состав сложного эфира и предложите его возможную структуру (две формулы).

2965. При щелочном гидролизе полного сложного эфира глюкозы (по всем ОН-группам) была получена смесь трех веществ общей массой 185,4 г. Количество вещества моносахарида в этой смеси не равно количеству вещества ни одной из двух солей. Массовая доля пропионата натрия в этой смеси равна 31,07%, а другой соли — 39,81%. Установите состав сложного эфира и предложите его возможную структуру (одну формулу).

2966. Имеется смесь трех сложных эфиров. Один из них образован дезоксирибозой, два других — глицерином. В каждом эфире имеется по два остатка одной и той же одноосновной предельной кислоты. Для гидролиза смеси эфиров необходимо 160 мл раствора KOH с концентрацией 5 моль/л. Образовавшуюся соль выделили в чистом виде и прокалили со щелочью, при этом с выходом 80% образовался газ массой 10,24 г. Установите возможное строение исходных эфиров.

Олигосахариды и полисахариды

2967. При полном гидролизе тетрасахарида образовалась смесь глюкозы и фруктозы. Масса вещества, которого образовалось больше, равна 10,8 г. Вычислите массу тетрасахарида, вступившего в реакцию.

2968. При гидролизе 7,50 г дисахарида образовался только один моносахарид. При его восстановлении было получено 0,0450 моль многоатомного спирта с выходом 75,0%. Установите возможное строение моносахарида (известно, что этот моносахарид входит в состав важнейших природных соединений).

2969. После гидролиза мальтозы оказалось, что масса продукта реакции на 2,70 г больше массы исходного дисахарида. Вычислите, какую массу простого эфира можно получить в результате ряда последовательных реакций (реакции брожения и дегидратации проходят с выходом по 75,0% каждая).

2970. Масса глюкозы, образовавшейся при гидролизе мальтозы, оказалась на 27,0 г больше дисахарида. Молочная кислота, образовавшаяся при брожении глюкозы, была обработана избытком натрия, в результате чего выделилось 89,6 л (н. у.) газа. Вычислите выход реакции брожения (*остальные реакции протекали* с выходом 100%).

2971. Смесь рибозы и мальтозы подвергли гидролизу, в результате чего масса смеси увеличилась на 16,2 г. Смесь продуктов реакции восстановили и затем перевели в полные эфиры (по всем гидроксильным группам) с уксусной кислотой. Суммарная масса эфиров оказалась равной 962,2 г. Вычислите массовые доли веществ в исходной смеси.

2972. Дисахарид подвергли гидролизу, при этом образовался только один моносахарид, его масса оказалась на 14,4 г больше исходного соединения. Моносахарид восстановили и перевели в полный сложный эфир (по всем гидроксильным группам) с уксусной кислотой, которой потребовалось 384 г. Масса сложного эфира оказалась равной 486,4 г. Установите возможное строение моносахарида.

2973. Масса продуктов гидролиза смеси сахарозы и глюкозы на 0,36 г больше массы исходных веществ. При сгорании такой же массы этой смеси выделилось 197,3 кДж теплоты, а образовавшийся газ был пропущен через 400 мл раствора NaOH с концентрацией 1,75 моль/л. В образовавшемся растворе массовые доли карбоната натрия и гидрокарбоната натрия составили 6,65 и 2,63% соответственно. Вычислите, какое количество теплоты выделяется при сгорании 1 моль глюкозы, если известно, что при сгорании сахарозы выделяется 5640 кДж.

2974. В результате обработки целлюлозы уксусным ангидридом в присутствии серной и уксусной кислот в выделенных после реакции высокомолекулярных продуктах число этерифицированных гидроксильных групп оказалось в 2,5 раза больше числа неэтерифицированных гидроксильных групп. Вычислите, во сколько раз суммарная масса смеси высокомолекулярных веществ больше массы исходной целлюлозы.

2975. В результате обработки моноацетилцеллюлозы уксусным ангидридом в присутствии серной и уксусной кислот в выделенных после реакции высокомолекулярных продуктах число неэтерифицированных гидроксильных групп оказалось в 5 раз меньше числа этерифицированных гидроксильных групп. Вычислите, во сколько раз суммарная масса смеси высокомолекулярных веществ больше массы исходной моноацетилцеллюлозы.

2976. Какую массу триацетата целлюлозы можно получить из древесины массой 162 г с массовой долей целлюлозы 0,5 (выход продукта 0,8).

2977. Для сжигания 99,0 г пироксилина, содержащего, кроме тринитрата целлюлозы, негорючие примеси, понадобилось 79,6 л воздуха (100 кПа; 25 °С). Вычислите массовую долю негорючих примесей в исходном образце.

2978. Какая масса пироксилина (тринитрата целлюлозы) полностью сгорела, если в результате реакции образовалось 140 л (105 °С; 99 кПа) газообразных продуктов?

2979. Альдозу, отвечающую формуле $C_n(H_2O)_n$, с 70%-м выходом восстановили в многоатомный спирт, который с 30%-м выходом перевели в полный сложный эфир с уксусной кислотой. Масса образовавшегося сложного эфира составила 50,75% от массы взятой альдозы. Вычислите, с каким выходом прошло окисление этой же альдозы до монокарбоновой кислоты, если масса кислоты оказалась равной массе исходной альдозы.

2980. Альдозу, отвечающую формуле $C_n(H_2O)_n$, с 90%-м выходом окислили в монокарбоновую кислоту, которую с выходом, равным 64,7%, перевели в сложный эфир с пентанолом. Масса образовавшегося сложного эфира оказалась равной исходной массе альдозы. Вычислите, с каким выходом прошла этерификация этой же альдозы масляной кислотой, если масса полного сложного эфира оказалась в два раза больше исходной массы альдозы.

3.12. КОМБИНИРОВАННЫЕ УПРАЖНЕНИЯ И ЗАДАЧИ ПО ХИМИИ КИСЛОРОДСОДЕРЖАЩИХ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

2981. Какое природное соединение способно как к реакции гидролиза, так и к реакции этерификации? Приведите схемы реакций.

2982. Приведите формулы двух изомеров, один из которых в своем составе содержит одну —COOH-группу, но не содержит

группу —ОН; другой содержит группу —ОН и не содержит группу —СООН.

2983. Приведите формулы двух изомеров, один из которых в своем составе содержит одну карбоксильную группу, но не содержит альдегидной группы; другой содержит альдегидную группу и не содержит карбоксильной группы.

2984. Приведите формулы двух изомеров, один из которых относится к ненасыщенным спиртам, а другой — к кислотам.

2985. Приведите формулы двух изомеров циклического строения, относящихся к разным классам кислородсодержащих соединений.

2986. Какой гомологический ряд кислородсодержащих соединений, содержащих только один тип функциональных групп, начинается с вещества, в молекуле которого имеется пять атомов углерода? Приведите формулы первого и второго членов этого ряда.

2987. В каком гомологическом ряду кислородсодержащих соединений, содержащих только один тип функциональных групп, второй член ряда в молекуле имеет четыре атома углерода? Приведите формулы второго и третьего членов этого ряда.

2988. Какой гомологический ряд ароматических углеводородов начинается с вещества, в молекуле которого имеется восемь атомов углерода? Приведите формулы первого и второго членов этого ряда.

2989. Существуют девять изомеров состава $C_8H_{10}O$, относящихся к одному классу органических соединений. Назовите этот класс и напишите формулы всех изомеров.

2990*. Из соединений состава $C_8H_{10}O$ выберите такое, которое существует в виде пары энантиомеров и имеет в своем составе один третичный и шесть вторичных атомов углерода. Напишите проекционные формулы этого соединения, назовите его по заместительной номенклатуре.

2991. К перечисленным веществам: молочная кислота, метиловый эфир молочной кислоты, этиловый эфир молочной кислоты, акриловая кислота добавьте два, в результате должны получиться три пары ближайших гомологов. Напишите формулы всех веществ и укажите пары гомологов.

2992. К перечисленным веществам: метакриловая кислота, акриловая кислота, этиленгликоль, глицерин добавьте два, в результате должны получиться три пары ближайших гомологов. Напишите формулы всех веществ и укажите пары гомологов.

2993. К перечисленным веществам: стирол, винилметилбензол, пропанол, пропаналь добавьте два, в результате должны получиться три пары ближайших гомологов. Напишите формулы всех веществ и укажите пары гомологов.

2994. Приведите молекулярную формулу ($C_xH_yO_z$), общую для всех членов гомологического ряда, в который входит соединение $CH_2=CH-\underset{\displaystyle OCH_3}{\underset{|}{C}}=O$. Напишите в общем виде уравнение реакции взаимодействия с хлороводородом.

2995. Приведите молекулярную формулу ($C_xH_yO_z$), общую для всех членов гомологического ряда, представителем которого является соединение $CH_2=CH-CH_2-O-CH_3$. Напишите в общем виде уравнение реакции гидратации.

2996. Приведите молекулярную формулу ($C_xH_yO_z$), общую для всех членов гомологического ряда, представителем которого является соединение $CH_3-O-CH_2-CH_2-OH$. Напишите в общем виде уравнение реакции взаимодействия с натрием.

2997. Приведите молекулярную формулу ($C_xH_yO_z$), общую для всех членов гомологического ряда, представителем которого является соединение $C_6H_5-\overset{\displaystyle O}{\overset{//}{C}}\backslash H$. Напишите в общем виде уравнение реакции горения.

2998. Приведите молекулярную формулу ($C_xH_yO_z$), общую для всех членов гомологического ряда, представителем которого является соединение $C_6H_5-\overset{\displaystyle O}{\overset{//}{C}}\backslash O-CH_3$. Напишите в общем виде уравнение реакции горения.

2999. К каким классам циклических соединений, содержащих только одну функциональную группу, могут относиться вещества состава $C_7H_{12}O$, $C_8H_8O_2$, $C_nH_{2n}O$?

3000. К каким классам циклических соединений, содержащих только один тип функциональных групп, могут относиться вещества состава $C_6H_{10}O_2$, C_7H_6O, $C_nH_{2n}O_{n-4}$?

3001. К каким классам соединений, содержащих только одну функциональную группу, могут относиться вещества состава C_2H_4O, $C_3H_6O_2$, $C_nH_{2n+2}O$?

3002. К каким классам насыщенных соединений, содержащих только один тип функциональных групп, могут относиться вещества состава $C_3H_8O_2$, $C_3H_4O_2$, $C_nH_{2n+2}O_n$, $C_4H_6O_4$?

3003. К каким классам ненасыщенных соединений, содержащих только одну функциональную группу, могут относиться вещества состава $C_5H_{10}O$, $C_4H_8O_2$, $C_nH_{2n}O$?

3004. К каким классам циклических соединений могут относиться вещества состава $C_nH_{2n}O$? Приведите структурные формулы двух соединений, относящихся к разным классам.

3005. Приведите структурные формулы двух соединений, имеющих общую формулу $C_nH_{2n-1}O_2K$, но различающихся числом *n*.

3006. Приведите формулу любого соединения, отвечающего формуле $C_nH_{2n}O$ и существующего в форме *цис-* и *транс*-изомера.

3007. Какие изомеры, имеющие состав C_3H_8O, могут вступать в реакцию с калием? Напишите уравнения реакций.

3008. Какой изомер, имеющий состав $C_3H_4O_2$, способен вступать в реакцию с аммиачным раствором оксида серебра? Напишите уравнение реакции.

3009. Какой изомер, имеющий состав $C_3H_4O_2$, способен вступать в реакцию с хлороводородом? Напишите уравнение реакции.

3010. Какие изомеры, имеющие состав $C_3H_6O_2$, могут вступать в реакцию гидролиза? Напишите уравнения реакций.

3011. Из приведенных формул $C_4H_4Na_2O_4$, $C_4Na_2O_6$, CH_4O, $C_7H_{12}O_5$ выберите не более двух. Используя из углеродсодержащих веществ только те, состав которых отвечает выбранным формулам, получите не более чем в три стадии вещество, имеющее состав $C_4H_4Na_2O_5$.

3012. Из приведенных формул $C_7H_{14}Cl_2$, $C_2H_3ClO_2$, C_2H_4O, $C_5H_8Cl_2$ выберите не более двух. Используя из углеродсодержащих веществ только те, состав которых отвечает выбранным формулам, получите не более чем в три стадии вещество, имеющее состав $C_7H_{11}ClO_2$.

3013. Из приведенных формул $C_7H_{16}O$, C_3H_6O, C_2H_6O, $C_5H_{12}O$ выберите не более двух. Используя из углеродсодержащих веществ только те, состав которых отвечает выбранным формулам, получите не более чем в три стадии вещество, имеющее состав $C_7H_{12}O_4$.

3014. Напишите все возможные реакции, которые могут попарно протекать между следующими веществами: бромоводородом, цинком, уксусной кислотой, гидроксидом калия, 1,2-дихлорэтеном.

3015. Как можно доказать наличие в масляной кислоте примеси масляного альдегида?

3016. Как химическим способом можно очистить пропионовую кислоту от примеси пропаналя?

3017. Получите вещество X с помощью реакций: а) гидролиза; б) гидратации; в) восстановления. Напишите уравнения этих реакций (один из возможных вариантов ответа).

3018. Получите вещество X с помощью реакций: а) гидролиза; б) гидрирования; в) дегидрирования. Напишите уравнения этих реакций (один из возможных вариантов ответа).

3019. Получите вещество X с помощью реакций: а) этерификации; б) гидрирования; в) дегидрирования. Напишите уравнения этих реакций (один из возможных вариантов ответа).

3020. Органическое вещество А, в молекуле которого имеются восемь атомов трех элементов, может быть получено как в результате реакции, протекающей по радикальному механизму, так и в результате реакции, протекающей по ионному механизму. Напишите два уравнения реакции получения соединения А (один из возможных вариантов ответа).

3021. Из пропаналя, не используя другие углеродсодержащие вещества, в три стадии получите кальциевую соль α-хлорпропионовой кислоты.

3022. Из 1,2-дихлорэтана, не используя другие углеродсодержащие вещества, в три стадии получите уксусную кислоту.

3023. Из бензола, не используя другие углеродсодержащие вещества, в три стадии получите пикриновую кислоту.

3024. Из диацетата этиленгликоля, не используя другие углеродсодержащие вещества, в три стадии получите хлороформ.

3025. Из угарного газа, не используя другие углеродсодержащие вещества, в три стадии получите хлорбромметан.

3026. Из этанола, не расходуя других углеродсодержащих соединений, получите дибромалкан, трихлоралкан и тетраиодалкан. Число атомов углерода во всех трех галогеналканах должно быть разным.

3027. Имеются натрий, вода, этанол и 1,3-дихлор-2,2-диметилбутан. Получите с помощью только этих веществ 3,3,6,6-тетраметилоктан.

3028. Получите бутадиен из метана без использования других углеродсодержащих веществ. Напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания.

3029. В реакциях, протекающих при разных условиях между простым веществом А и сложным веществом В, образуется вода. Вторым продуктом взаимодействия могут быть углекислый газ или органические вещества, относящиеся к разным классам соединений. Предложите один из вариантов соответствия букв веществам и напишите уравнения трех реакций.

3030. Из органического вещества А можно в две стадии получить вещество В. На каждой стадии вторым продуктом реакции является вода. Предложите один из вариантов соответствия букв веществам и напишите уравнения обеих реакций.

3031. Из простого вещества А можно в две стадии получить вещество В. На каждой стадии реагентом является оксид углеро-

да (II). Предложите один из вариантов соответствия букв веществам и напишите уравнения обеих реакций.

3032. Из углеводорода А можно в результате последовательно протекающих реакций разложения и соединения получить вещество В, в молекуле которого имеются семь атомов трех элементов. Напишите уравнения обеих реакций (один из возможных вариантов ответа).

3033. Из какого органического вещества в результате двух последовательно протекающих реакций дегидратации и присоединения можно получить 2-иод-3,3-диметилбутан? Напишите уравнения обеих реакций.

3034. Из какого органического вещества в результате двух последовательно протекающих реакций дегидратации и присоединения можно получить 2,3-дибром-2,4-диметилпентан? Напишите уравнения обеих реакций.

3035. Из какого вещества в результате двух последовательно протекающих реакций гидролиза и дегидратации можно получить диизопропиловый эфир? Напишите уравнения обеих реакций (предложите один вариант ответа).

3036. Из метана, не используя других углеродсодержащих соединений, получите семь различных эфиров (простых и сложных). Напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания.

3037. Из 1-хлорпропана, не используя других углеродсодержащих соединений, получите семь органических соединений, в молекулах которых помимо атомов углерода и водорода имеются атомы только кислорода. Напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания.

3038. Из оксида углерода (II), не используя других углеродсодержащих соединений, получите пять органических соединений, относящихся к различным классам, в молекулах которых помимо атомов углерода и водорода имеются атомы только кислорода. Напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания.

3039. Два кислородсодержащих органических соединения различаются по составу только на один атом кислорода. Одно из них вступает в реакцию с перманганатом калия в подкисленном растворе и не реагирует с гидрокарбонатом калия; другое, наоборот, не вступает в реакцию с перманганатом калия в подкисленном растворе, но реагирует с гидрокарбонатом калия. Оба вещества не реагируют с хлороводородом. Предложите возможные структуры веществ и напишите уравнения реакций.

3040. Два кислородсодержащих органических соединения различаются по составу только на два атома водорода. Одно из них вступает в реакцию с натрием и уксусной кислотой и не реагирует

с оксидом серебра (в аммиачном растворе); другое, наоборот, не вступает в реакции с натрием и уксусной кислотой, но реагирует с оксидом серебра (в аммиачном растворе). Предложите возможные структуры веществ и напишите уравнения реакций.

3041. Углеводород А и кислородсодержащее соединение В различаются по составу только на один атом кислорода. Оба вещества реагируют с перманганатом калия. Одно из этих веществ вступает в реакцию с хлороводородом и не реагирует с оксидом серебра (в аммиачном растворе); другое, наоборот, не вступает в реакции с хлороводородом, но реагирует с оксидом серебра (в аммиачном растворе). Предложите возможные структуры А и В; напишите уравнения реакций.

3042. Два кислородсодержащих органических соединения различаются по составу только на одну гомологическую разность. Оба вещества вступают в реакции с гидрокарбонатом натрия и метанолом; однако одно из них реагирует с оксидом серебра (в аммиачном растворе), а другое — нет. Предложите возможные структуры веществ и напишите уравнения реакций.

3043. Два кислородсодержащих органических соединения различаются по составу только на две гомологические разности. Оба вещества вступают в реакции с гидроксидом меди (II) и этанолом; однако одно из них реагирует с перманганатом калия в подкисленном растворе, а другое — нет. Предложите возможные структуры веществ и напишите уравнения реакций.

3044. Два кислородсодержащих органических соединения различаются по составу только на одну гомологическую разность. Одно из них реагирует с натрием, уксусной кислотой и перманганатом калия (в подкисленном растворе). Другое вещество ни с одним из этих веществ в реакцию не вступает. Предложите возможные структуры веществ и напишите уравнения реакций.

3045. Два органических соединения, различающихся по составу только на один атом кислорода, вступают в реакции с метанолом и аммиаком. Однако одно из них реагирует с уксусной кислотой, а другое — нет. Предложите возможные структуры веществ, напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания.

3046. Два кислородсодержащих органических соединения, различающихся по составу только на один атом углерода, вступают в реакции с гидроксидом кальция и хлором. Однако одно из них реагирует с хлороводородом, а другое — нет. Предложите возможные структуры веществ и напишите уравнения реакций.

3047. Два кислородсодержащих органических соединения, различающихся по составу только на одну гомологическую разность, вступают в реакцию с гидроксидом натрия, но не реагируют с оксидом серебра (в аммиачном растворе). Одно из этих

веществ реагирует с мелом, а другое — нет. Предложите возможные структуры веществ и напишите уравнения реакций.

3048. Два кислородсодержащих органических соединения, различающихся по составу только на одну гомологическую разность, вступают в реакцию с калием, но не реагируют с гидрокарбонатом калия. Одно из этих веществ реагирует с бромной водой, а другое — нет. Предложите возможные структуры веществ и напишите уравнения реакций.

3049. Два кислородсодержащих органических соединения, различающихся по составу только на один атом кислорода, вступают в реакцию с натрием и терефталевой кислотой. Одно из этих веществ реагирует с гидроксидом меди (II), а другое — нет. Предложите возможные структуры веществ, напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания.

3050. Приведите структурные формулы трех ациклических изомеров состава C_4H_8O. Как можно химическим способом различить их?

3051*. Имеются два соединения одинакового состава — $C_5H_8O_2$. Одно из этих веществ вступает в реакции S_N и A_E, другое в эти реакции не вступает. Приведите возможные структурные формулы этих соединений и напишите уравнения реакций, протекающих по упомянутым механизмам.

3052*. Имеются два соединения одинакового состава — C_7H_8O. Одно из этих веществ вступает в реакции S_N и A_E, другое — в реакции S_N и S_E. Приведите возможные структурные формулы этих соединений и напишите уравнения реакций.

3053*. Приведите возможные структурные формулы двух соединений, имеющих состав $C_3H_6O_2$ и вступающих в реакции S_N, одно из которых реагирует с гидрокарбонатом натрия, а другое — нет. Приведите уравнения реакций.

3054*. Приведите возможные структурные формулы двух соединений, имеющих состав C_4H_8O, для одного из которых характерны реакции, протекающие по механизму A_N, а для другого — по механизму A_E. Приведите примеры реакций.

3055*. Приведите возможную структурную формулу вещества, имеющего состав $C_8H_8O_2$ и вступающего в реакции, которые протекают по механизмам S_E, S_R и S_N. Приведите примеры реакций.

3056*. Приведите возможную структурную формулу вещества, имеющего состав C_7H_5ClO и вступающего в реакции, которые протекают по механизмам S_E и A_N. Приведите примеры реакций.

3057*. Приведите возможную структурную формулу вещества состава $C_4H_{10}O_3$, которое вступает в реакции, протекающие по механизму S_N, и образует с одним и тем же веществом два

разных продукта реакции в зависимости от соотношения реагентов. Приведите примеры уравнений реакций.

3058*. Приведите структурные формулы двух соединений состава $C_3H_6O_2$, которые вступают в реакции, протекающие по механизму S_N, и не реагируют с гидрокарбонатом натрия. Одно из этих соединений способно вступать в реакцию серебряного зеркала. Приведите уравнения реакций.

3059*. Вещество А состава $C_8H_{12}O_2$ вступает в реакции, протекающие по механизмам нуклеофильного замещения и электрофильного присоединения. В кислой среде вещество А присоединяет воду, превращаясь в вещество В состава $C_8H_{14}O_3$. В реакции вещества А с бутанолом-1 образуется соединение С состава $C_{12}H_{20}O_2$. При взаимодействии вещества А с насыщенным раствором гидрокарбоната калия выделяется газ. Предложите одну из возможных структур вещества А и напишите уравнения реакций.

3060*. Вещество А состава $C_9H_{14}O$, способное существовать в виде *цис-транс*-изомеров, может вступать в реакции, протекающие по механизмам электрофильного присоединения и нуклеофильного замещения. При взаимодействии вещества А с избытком бромоводорода образуется вещество В состава $C_9H_{15}Br_3$, а при взаимодействии с бромом в тетрахлорметане — соединение С состава $C_9H_{14}Br_4O$. В реакции вещества А с уксусной кислотой в присутствии серной кислоты получается соединение D состава $C_{11}H_{16}O_2$. Предложите одну из возможных структур вещества А и напишите уравнения реакций.

3061*. Вещество А($C_{11}H_{18}O_3$), способное существовать в виде *цис-транс*-изомеров, а также в виде оптических изомеров, может вступать в реакции, протекающие по механизмам электрофильного присоединения и нуклеофильного замещения. При взаимодействии А с избытком бромоводорода образуется вещество В ($C_{11}H_{18}Br_2O_2$), а при взаимодействии с водным раствором перманганата калия на холоду — соединение С ($C_{11}H_{19}O_5K$). В реакции А с этанолом в кислой среде образуется соединение D ($C_{13}H_{22}O_3$). Предложите одну из возможных структур А и напишите уравнения упомянутых реакций, укажите механизмы.

3062*. Вещество А состава $C_8H_{10}O$, способное существовать в виде *цис-транс*-изомеров, может вступать в реакции электрофильного и нуклеофильного присоединения. При взаимодействии вещества А с аммиачным раствором оксида серебра образуется вещество В состава $C_8H_{10}O_2$. При взаимодействии вещества В с бромом в тетрахлорметане получается соединение С состава $C_8H_{10}Br_4O_2$, а в реакции с бутанолом-1 в кислой среде — соедине-

ние D состава $C_{12}H_{18}O_2$. Предложите одну из возможных структур вещества A и напишите уравнения реакций.

3063*. Вещество A состава $C_7H_{12}O$ может вступать в реакции электрофильного присоединения и нуклеофильного замещения. При взаимодействии вещества A с бромоводородом образуется вещество B состава $C_7H_{12}Br_2$, при взаимодействии с бромом в тетрахлорметане получается соединение C состава $C_7H_{12}Br_2O$, а в реакции с раствором перманганата калия при комнатной температуре — соединение D состава $C_7H_{14}O_3$. Предложите одну из возможных структур вещества A и напишите уравнения реакций.

3064*. Вещество A состава $C_7H_{10}O_4$ может вступать в реакции электрофильного присоединения и нуклеофильного замещения. При взаимодействии вещества A с избытком бромоводорода образуется вещество B состава $C_7H_9Br_3O_2$, а в реакции с бромом — вещество C состава $C_7H_{10}Br_2O_4$. В реакции вещества A с натрием выделяется газ и получается соединение D состава $C_7H_7O_4Na_3$. Предложите одну из возможных структур вещества A и напишите уравнения реакций.

3065*. Среди изомеров $C_5H_{10}O_5$ выберите такой, из которого можно получить с помощью реакций, протекающих только по механизму S_N, соединение C_2H_5ClO. Другие углеродсодержащие соединения использовать нельзя. Напишите уравнения реакций.

3066*. Приведите структурную формулу вещества, имеющего состав C_3H_6O, которое может быть получено по реакции, протекающей по механизму S_N, и которое само вступает в реакции, протекающие по этому же механизму. Приведите примеры реакций.

3067. Из бромметана, не используя другие органические соединения, получите соединение, имеющее состав $C_3H_6O_2$ и его гомолог.

3068. Из одного из изомеров бромпропана, не используя другие органические соединения, получите соединение состава $C_6H_{14}O$.

3069. Приведите формулы всех соединений состава $C_5H_{12}O$, которые при окислении дихроматом калия в кислой среде образуют соединения состава $C_5H_{10}O$.

3070. В молекуле некоторого органического соединения содержится, помимо атомов водорода, 58 атомов углерода и 6 атомов кислорода. Приведите уравнение реакции, в ходе которой из этого соединения образуется вещество, в молекуле которого число атомов углерода и кислорода равно между собой.

3071. Составьте уравнения реакций (с использованием структурных формул) по схеме:

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$$

Буквами обозначены вещества, имеющие состав C_9H_{12}, C_6H_6, C_6H_{10}, $C_7H_6O_2$.

3072. Составьте уравнения реакций (с использованием структурных формул) по схеме:

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$$

Буквами обозначены вещества, имеющие состав $C_4H_8Cl_2$, C_4H_8, C_4H_8O, C_4H_6.

3073. Составьте уравнения реакций (с использованием структурных формул) по схеме:

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$$

Буквами обозначены вещества, имеющие состав C_4H_8, $C_4H_8O_2K_2$, $C_4H_{10}O_2$, C_4H_9I.

3074. Составьте уравнения реакций (с использованием структурных формул) по схеме:

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$$

Буквами обозначены вещества, имеющие состав $C_7H_5O_2Na$, $C_7H_6O_2$, C_7H_8, C_7H_{10}.

3075. Составьте уравнения реакций (с использованием структурных формул) по схеме:

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$$

Буквами обозначены вещества, имеющие состав $C_{36}H_{74}$, $C_{36}H_{70}O_4Ca$, $C_{19}H_{38}O_2$, $C_{18}H_{36}O_2$.

3076. Составьте уравнения реакций (с использованием структурных формул) по схеме:

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$$

Буквами обозначены вещества, имеющие состав $C_6H_{10}O_4$, $C_4H_8O_3$, $C_2H_6O_2$, C_2H_5OCl.

3077. Составьте уравнения реакций (с использованием структурных формул) по схеме:

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$$

Буквами обозначены вещества, имеющие состав C_4H_9Cl, $C_4H_7O_2Cl$, $C_4H_8O_2$, $C_4H_{10}O$.

3078. Составьте уравнения реакций (с использованием структурных формул) по схеме:

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$$

Буквами обозначены вещества, имеющие состав C_2H_4, C_2H_4O, $C_2H_4O_2$, C_2H_4BrCl.

3079. Составьте уравнения реакций (с использованием структурных формул) по схеме:

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$$

Буквами обозначены вещества, имеющие состав C_6H_6, C_6H_6O, C_6H_5Cl, $C_6H_3OBr_3$.

3080. Составьте уравнения реакций (с использованием структурных формул) по схеме:

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$$

Буквами обозначены вещества, имеющие состав C_3H_6, $C_3H_6Br_2$, $C_6H_{14}O$, C_3H_8O.

3081. Составьте уравнения реакций (с использованием структурных формул) по схеме:

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$$

Буквами обозначены вещества, имеющие состав $C_4H_{10}O$, $C_8H_{18}O$, C_4H_9I, C_4H_8.

3082. Составьте уравнения реакций (с использованием структурных формул) по схеме:

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$$

Буквами обозначены вещества, имеющие состав C_4H_9ONa, $C_4H_7O_2Na$, $C_4H_{10}O$, $C_4H_8O_2$.

3083. Составьте уравнения реакций (с использованием структурных формул) по схеме:

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$$

Буквами обозначены вещества, имеющие состав $C_{10}H_{22}$, $C_6H_{12}O_2$, $C_5H_{12}O$, $C_5H_{11}Cl$.

3084. Составьте уравнения реакций (с использованием структурных формул) по схеме:

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$$

Буквами обозначены вещества, имеющие состав C_5H_{10}, $C_5H_{12}O_2$, $C_9H_{16}O_4$, $C_5H_{10}Cl_2$.

3085. Составьте уравнения реакций (с использованием структурных формул) по схеме:

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$$

Буквами обозначены вещества, имеющие состав $C_9H_{12}O$, $C_9H_{11}Cl$, $C_{11}H_{14}O_2$, C_9H_{12}.

3086. Составьте уравнения реакций (с использованием структурных формул) по схеме:

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$$

Буквами обозначены вещества, имеющие состав C_8H_9ONa, $C_8H_{10}O$, C_8H_{10}, C_8H_8.

3087. Соединение А состава $C_4H_6O_3$ в реакции с избытком бромоводорода превращается в вещество состава $C_4H_6Br_2O_2$. При действии на вещество А перманганата калия в водном нейтральном растворе образуется вещество состава $C_4H_8O_5$. Вещество А вступает в реакцию с водным раствором гидроксида натрия. Приведите две возможные структурные формулы вещества А.

3088. Соединение А имеет состав $C_{11}H_{10}O_2$, оно не может существовать в форме *цис-* и *транс*-изомеров. В реакции с бромной водой соединение А образует вещество состава $C_{11}H_{10}Br_4O_2$. Вещество А реагирует с метанолом в присутствии H_2SO_4 с образованием вещества состава $C_{12}H_{12}O_2$. Приведите две возможные структурные формулы вещества А и уравнения реакций.

3089. Соединение А состава $C_3H_6O_4$ в реакции с избытком этанола в присутствии серной кислоты и при нагревании образует вещество состава $C_5H_{10}O_4$, а в реакции с избытком муравьиной кислоты в тех же условиях — вещество состава $C_5H_6O_6$. Приведите возможную структурную формулу вещества А.

3090. Соединение А состава $C_7H_6O_3$ в реакции с водным раствором хлорида железа (III) образует продукт фиолетового цвета. В реакции вещества А с избытком этанола в присутствии серной кислоты и при нагревании образуется вещество состава $C_9H_{10}O_3$, а в реакции с избытком уксусной кислоты в тех же условиях — вещество состава $C_9H_8O_4$. Приведите возможную структурную формулу вещества А.

3091. Соединение А состава $C_9H_8O_2$ в реакции с избытком метанола в присутствии H_2SO_4 и при нагревании образует вещество состава $C_{10}H_{10}O_2$, а в реакции с избытком раствора брома в тетрахлорметане — вещество состава $C_9H_8O_2Br_2$. Соединение А в реакции с гидроксидом калия образует растворимое в воде соединение. Приведите возможную структурную формулу вещества А и уравнения реакций.

3092. Соединение А состава $C_4H_4O_5$ не реагирует с бромной водой и не вступает в реакцию серебряного зеркала. Реагируя с гидрокарбонатом натрия, вещество А образует соединение состава $C_4H_2O_5Na_2$. Сколько структур отвечает А? Ответ обоснуйте.

3093. Соединения А и В, имеющие состав $C_3H_4O_3$, отличаются друг от друга способностью вступать в реакцию серебряного

зеркала. В реакции с гидроксидом бария оба соединения образуют вещество состава $C_6H_6O_6Ba$. Приведите формулы соединений А и В.

3094. Соединение А, имеющее состав $C_3H_4O_3$, вступает в реакцию серебряного зеркала, образуя вещество В состава $C_3H_{10}N_2O_4$. В реакции с водородом в присутствии платинового катализатора вещество А превращается в вещество С состава $C_3H_6O_3$. Приведите уравнения реакций, которые могут протекать в соответствующих условиях между веществами В и С.

3095. Соединение А, имеющее состав $C_{10}H_{10}O$, в реакции с хлоридом железа (III) образует соединение фиолетового цвета. Вещество А реагирует с раствором брома в тетрахлорметане, образуя вещество состава $C_{10}H_9OBr_5$. Установите структуру вещества А и приведите уравнение реакции.

3096. Приведите формулы трех изомеров состава C_7H_8O, один из которых вступает в реакцию с натрием, но не вступает в реакцию с гидроксидом натрия, другой вступает в реакцию и с натрием, и с гидроксидом натрия, а третий не вступает в реакцию ни с натрием, ни с гидроксидом натрия.

3097. Соединение А состава $C_3H_6O_3$ в реакции с натрием образует вещество состава $C_3H_4Na_2O_3$, с карбонатом кальция — вещество состава $C_6H_{10}CaO_6$, с этанолом в присутствии H_2SO_4 — вещество состава $C_5H_{10}O_3$. Предложите возможную структуру соединения А и напишите уравнения реакций.

3098. Вещество А состава $C_7H_8O_2$ реагирует с бромной водой, при взаимодействии с гидроксидом натрия превращается в водорастворимое соединение состава $C_7H_7NaO_2$. Вещество А реагирует с натрием, превращаясь в соединение состава $C_7H_6Na_2O_2$, с бромоводородом образует вещество состава C_7H_7BrO. Напишите возможные структурные формулы вещества А и уравнения реакций.

3099. Вещество А состава C_7H_8O окисляется в вещество В состава C_7H_6O, которое само легко окисляется в вещество С состава $C_7H_6O_2$. Вещество С, реагируя с этанолом, образует соединение D состава $C_9H_{10}O_2$. Напишите формулы всех соединений и уравнения реакций.

3100. Легко полимеризующееся вещество А состава $C_3H_4O_2$ в реакции с гидроксидом бария образует соединение состава $C_6H_6BaO_4$, с бромоводородом — соединение состава $C_3H_5BrO_2$, с этанолом в кислой среде — соединение состава $C_5H_8O_2$. Напишите структурную формулу вещества А и уравнения реакций.

3101. Приведите структурную формулу соединения А состава C_7H_8O, реагирующего с бромной водой с образованием вещества состава $C_7H_5Br_3O$. Вещество А реагирует с натрием, образуя

вещество В состава C_7H_7ONa. Вещество В в водном растворе реагирует с углекислым газом и превращается в вещество А. Напишите уравнения реакций.

3102. Приведите одну из возможных структур соединения А состава $C_4H_4O_4$, которое взаимодействует с этанолом в присутствии серной кислоты с образованием соединения состава $C_8H_{12}O_4$. Вещество А взаимодействует с бромом в тетрахлорметане с образованием вещества состава $C_4H_4Br_2O_4$ и с водным раствором перманганата калия на холоду, превращаясь в соединение состава $C_4H_6O_6$. Напишите уравнения реакций.

3103. Напишите одну из возможных структур соединения А состава $C_5H_8O_2$, реакция которого с насыщенным раствором гидрокарбоната калия сопровождается выделением газа. Вещество А обесцвечивает бромную воду, реагирует с водородом в присутствии никелевого катализатора, превращаясь в соединение состава $C_5H_{10}O_2$. Напишите уравнения реакций.

3104. Приведите одну из возможных структур вещества А состава $C_4H_{10}O_3$, которое реагирует с натрием с выделением водорода, с гидроксидом меди (II) дает синее окрашивание, а при действии избытка уксусной кислоты в присутствии концентрированной серной кислоты превращается в соединение В состава $C_8H_{14}O_5$. Напишите уравнения реакций.

3105. Приведите все возможные структурные формулы вещества состава $C_5H_{12}O$, которое при взаимодействии с концентрированной серной кислотой превращается в соединение состава C_5H_{10}, а при взаимодействии с бромоводородом превращается в вещество состава $C_5H_{11}Br$. Напишите уравнения реакций.

3106. Приведите все возможные структурные формулы вещества А состава $C_4H_{10}O$, которое при взаимодействии с бромоводородом превращается в соединение В состава C_4H_9Br. Вещество В реагирует со спиртовым раствором KOH и превращается в вещество С состава C_4H_8. Вещество С взаимодействует с водой в присутствии фосфорной кислоты с образованием соединения состава $C_4H_{10}O$. Продукты окисления вещества А не дают реакции серебряного зеркала. Напишите уравнения реакций (на примере одного из предложенных соединений).

3107. Предложите одну из возможных структур вещества А состава $C_7H_8O_2$, которое растворяется в щелочах, а при действии бромной воды превращается в соединение В состава $C_7H_6Br_2O_2$. Напишите уравнения реакций.

3108. Предложите одну из возможных структур вещества А состава $C_8H_{14}O_4$, которое при нагревании с раствором гидроксида натрия превращается в вещество В состава $C_4H_{10}O_2$. Веще-

ство B реагирует с натрием с выделением водорода, а с гидроксидом меди (II) дает синее окрашивание. Напишите уравнения реакций.

3109. Кислородсодержащее соединение A обработали бромидом калия в присутствии концентрированного раствора серной кислоты, в результате чего образовалось вещество B. Вещество B при обработке натрием превращается в углеводород C состава C_6H_{14}. При хлорировании этого углеводорода на свету образуются только два монохлорпроизводных. Установите строение соединений A, B, C и напишите уравнения реакций.

3110*. Предложите одну из возможных структур вещества A ($C_{12}H_{14}O_4$), способного вступать в реакции нуклеофильного и электрофильного замещения. При действии разбавленной серной кислоты на A образуются соединения B ($C_{10}H_{14}O_4$) и C. При обработке B избытком уксусного ангидрида получается вещество D ($C_{16}H_{20}O_7$). При нагревании натриевой соли C со щелочью образуется горючий газ. Напишите уравнения упомянутых реакций, укажите, где возможно, механизмы.

3111. Вещество A состава $C_5H_{12}O_2$ при взаимодействии с бромоводородом превращается в соединение B. Соединение B при обработке натрием превращается в углеводород C, который при хлорировании на свету дает только одно моногалогенопроизводное. Установите строение веществ A, B, C и напишите уравнения реакций.

3112. Соединение A состава $C_4H_{10}O$ при нагревании с концентрированным раствором серной кислоты в зависимости от температуры образует либо вещество B состава $C_8H_{18}O$, либо вещество C состава C_4H_8. При гидратации вещества C образуется вещество, изомерное веществу A. Предложите возможные структуры вещества A и напишите уравнения реакций.

3113. Соединение A состава $C_4H_{10}O$ при нагревании с концентрированным раствором серной кислоты в зависимости от температуры образует либо вещество B состава $C_8H_{18}O$, либо вещество C состава C_4H_8. Гидратация вещества C приводит к образованию вещества A. Предложите возможные структуры вещества A и напишите уравнения реакций.

3114. Соединение A состава $C_5H_{12}O$ окисляется в соединение состава $C_5H_{10}O_2$. При нагревании вещества A с концентрированным раствором серной кислоты образуется единственный продукт состава $C_{10}H_{22}O$. Вещество A вступает в реакцию с натрием. Предложите структуру вещества A и напишите уравнения реакций.

3115. Соединение A состава $C_7H_6O_3$ с избытком гидроксида натрия образует продукт состава $C_7H_4Na_2O_3$. В реакции с метано-

лом в присутствии серной кислоты вещество А превращается в соединение состава $C_8H_8O_3$. Приведите возможные структуры вещества А и напишите уравнения реакций (на примере одного из соединений).

3116. Вещество А состава $C_{17}H_{16}O_4$, содержащее два бензольных кольца, при нагревании с водным раствором гидроксида калия образует два соединения: В состава $C_7H_5O_2K$ и С состава $C_3H_8O_2$. Соединение С вступает в реакцию с гидроксидом меди (II), образуя соединение синего цвета. Вещества В и С могут быть получены окислением соответствующих углеводородов нейтральным раствором перманганата калия. Установите возможное строение вещества А и приведите уравнения реакций.

3117. Вещество А состава C_3H_8O взаимодействует с натрием. Вещество А при нагревании с концентрированным раствором серной кислоты образует продукты состава C_3H_6 и $C_6H_{14}O$. При окислении перманганатом калия вещество А превращается в соединение состава C_3H_6O, дающее реакцию серебряного зеркала. Назовите вещество А и напишите уравнения реакций.

3118. Установите структуру соединения $C_3H_8O_2$, которое реагирует с натрием с выделением водорода, а с избытком уксусной кислоты в присутствии концентрированного раствора серной кислоты образует продукт состава $C_5H_{10}O_3$, способный гидролизоваться. Приведите уравнения реакций.

3119. Приведите все возможные структуры углеводорода А состава C_5H_{10}, который реагирует с бромоводородом и превращается в соединение В состава $C_5H_{11}Br$. Вещество В вступает в реакцию с водным раствором гидроксида натрия, образуя соединение С, продукты окисления которого не дают реакции серебряного зеркала. Напишите уравнения реакций.

3120. Напишите возможные структуры соединения $C_8H_{10}O$, которое не реагирует с бромной водой и гидроксидом натрия, реагирует с натрием с выделением водорода, в реакции с бромоводородом превращается в вещество C_8H_9Br, перманганатом калия в кислой среде окисляется в вещество $C_8H_6O_4$. Напишите схемы упомянутых реакций.

3121. Приведите структурную формулу вещества А состава $C_9H_{10}O$, существующего в форме *цис-* и *транс*-изомера, которое не реагирует с водным раствором гидроксида натрия, но взаимодействует с натрием с выделением водорода. Вещество А взаимодействует с бромной водой, превращаясь в соединение состава $C_9H_{10}Br_2O$, а с раствором перманганата калия образует соединение состава $C_9H_{12}O_3$. Напишите уравнения реакций.

3122. Среди соединений состава $C_5H_{10}O_2$ выберите такое, из которого в две стадии, не используя других углеродсодержащих

соединений, можно получить вещество состава C_2H_4O. Напишите уравнения реакций, применяя структурные формулы веществ.

3123. Среди соединений состава $C_5H_{10}O_2$ выберите такое, из которого в две стадии, не используя других углеродсодержащих соединений, можно получить вещество состава C_3H_6O. Напишите уравнения реакций, применяя структурные формулы веществ.

3124. Среди соединений состава $C_4H_8O_2$ выберите такое, из которого в две стадии, не используя других углеродсодержащих соединений, можно получить вещество состава C_2H_4O. Напишите уравнения реакций, применяя структурные формулы веществ.

3125. Среди соединений состава $C_4H_8O_2$ выберите такое, из которого в две стадии, не используя других углеродсодержащих соединений, можно получить вещество состава C_3H_6O. Напишите уравнения реакций, применяя структурные формулы веществ.

3126. Среди соединений состава $C_3H_6O_2$ выберите такое, из которого в две стадии, не используя других углеродсодержащих соединений, можно получить вещество состава C_2H_4O. Напишите уравнения реакций, применяя структурные формулы веществ.

3127. Среди соединений состава C_4H_8O выберите такое, из которого, не используя других углеродсодержащих соединений, можно получить вещество состава $C_4H_8O_2$ с разветвленным углеродным скелетом. Напишите уравнения реакций, применяя структурные формулы веществ.

3128. Среди изомеров $C_5H_{12}O$ с разветвленным углеродным скелетом выберите такой, из которого, не используя других углеродсодержащих соединений, можно получить вещество состава $C_5H_{10}O_2$. Напишите уравнения реакций, применяя структурные формулы веществ.

3129. Среди изомеров $C_3H_6O_2$ выберите такой, из которого, не используя других углеродсодержащих соединений, в две стадии можно получить вещество состава $C_3H_4O_3Na_2$. Напишите уравнения реакций, применяя структурные формулы веществ.

3130. Среди изомеров $C_4H_8O_2$ выберите такой, из которого, не используя других углеродсодержащих соединений, в две стадии можно получить вещество состава $C_4H_7O_3K$. Напишите уравнения реакций, применяя структурные формулы веществ.

3131. Среди изомеров $C_3H_4O_2$ выберите такой, из которого, не используя других углеродсодержащих соединений, в две стадии можно получить вещество состава $C_3H_2O_4Ca$. Напишите уравнения реакций, применяя структурные формулы веществ.

3132. Среди изомеров $C_{18}H_{34}O_2$ выберите такой, из которого, не используя других углеродсодержащих соединений, в две стадии можно получить вещество состава $C_{18}H_{33}Br_2O_2Na$. Напишите уравнения реакций, применяя структурные формулы веществ.

3133. Среди изомеров $C_{16}H_{30}O_2$ выберите такой, из которого, не используя других углеродсодержащих соединений, в две стадии можно получить вещество состава $C_{16}H_{31}O_3K$. Напишите уравнения реакций, применяя структурные формулы веществ.

3134. Среди изомеров $C_{18}H_{32}O_2$ выберите такой, из которого, не используя других углеродсодержащих соединений, в две стадии можно получить вещество состава $C_{36}H_{70}O_4Ba$. Напишите уравнения реакций, применяя структурные формулы веществ.

3135. Из соединения, имеющего состав $C_3H_4O_2$, не используя других углеродсодержащих соединений, в две стадии получите один из изомеров состава $C_3H_4O_2ClK$. Напишите уравнения реакций, применяя структурные формулы веществ.

3136. Среди изомеров C_3H_8O выберите такой, из которого, не используя других углеродсодержащих соединений, в две или три стадии можно получить вещество состава $C_6H_{12}O_2$. Напишите уравнения реакций, применяя структурные формулы веществ.

3137. Среди соединений состава $C_4H_{10}O$ с разветвленным углеродным скелетом выберите такое, из которого, не используя других углеродсодержащих соединений, в две или три стадии можно получить вещество состава $C_8H_{16}O_2$. Напишите уравнения реакций, применяя структурные формулы веществ.

3138. Среди соединений с неразветвленным углеродным скелетом состава C_4H_8O выберите такое, из которого, не используя других углеродсодержащих соединений, в три стадии можно получить вещество состава $C_8H_{16}O_2$. Напишите уравнения реакций, применяя структурные формулы веществ.

3139. Среди изомеров C_3H_6O выберите такой, из которого, не используя других углеродсодержащих соединений, в три стадии можно получить вещество состава $C_6H_{12}O_2$. Напишите уравнения реакций, применяя структурные формулы веществ.

3140. Среди изомеров $C_5H_{10}O$ выберите такой, из которого, не используя других углеродсодержащих соединений, в три стадии можно получить вещество состава $C_{10}H_{20}O_2$. Напишите уравнения реакций, применяя структурные формулы веществ.

3141. Среди изомеров состава C_3H_6O выберите такой, из которого, не используя других углеродсодержащих соединений, в две стадии можно получить вещество состава $C_6H_{14}O$. Напишите уравнения реакций, применяя структурные формулы веществ.

3142. Среди изомеров состава $C_5H_{10}O$ выберите такой, из которого, не используя других углеродсодержащих соединений, в две стадии можно получить вещество состава $C_{10}H_{22}O$ с неразветвленными радикалами. Напишите уравнения реакций, применяя структурные формулы веществ.

3143. Среди соединений с разветвленным углеродным скелетом состава C_4H_8O выберите такое, из которого, не используя других углеродсодержащих соединений, в две стадии можно получить вещество состава $C_8H_{18}O$. Напишите уравнения реакций, применяя структурные формулы веществ.

3144. Среди соединений состава C_3H_8O выберите такой изомер, из которого можно получить гомолог другого изомера (без использования других углеродсодержащих соединений). Напишите уравнение реакции.

3145. Приведите формулу соединения с минимально возможным числом атомов углерода, состав которого отвечает формуле $C_nH_{2n}O$ и из которого можно в две стадии без использования других углеродсодержащих соединений получить вещество $C_{2n}H_{4n+2}O$. Напишите уравнения реакций, применяя структурные формулы веществ.

3146. Среди изомеров состава $C_4H_8I_2$ выберите такой, из которого, не используя других углеродсодержащих соединений, в две стадии можно получить вещество состава $C_4H_{10}O$. Напишите уравнения реакций, применяя структурные формулы веществ.

3147. Среди изомеров состава $C_4H_8Br_2$ выберите такой, из которого, не используя других углеродсодержащих соединений, в две стадии можно получить вещество состава C_4H_9I. Напишите уравнения реакций, применяя структурные формулы веществ.

3148. Среди изомеров состава $C_3H_6Br_2$ выберите такой, из которого, не используя других углеродсодержащих соединений, в две стадии можно получить вещество состава $C_3H_6Cl_2$. Напишите уравнения реакций, применяя структурные формулы веществ.

3149. Среди изомеров состава $C_3H_6I_2$ выберите такой, из которого, не используя других углеродсодержащих соединений, в две стадии можно получить вещество состава C_3H_8O. Напишите уравнения реакций, применяя структурные формулы веществ.

3150. Среди изомеров состава $C_5H_{10}Br_2$ выберите такой, из которого, не используя других углеродсодержащих соединений, в две стадии можно получить вещество состава C_5H_9Cl. Напишите уравнения реакций, применяя структурные формулы веществ.

3151. Среди изомеров состава C_7H_7ONa выберите такой, из которого, не используя других углеродсодержащих соединений, в две стадии можно получить вещество состава $C_7H_5OBr_3$. Напишите уравнения реакций, применяя структурные формулы веществ.

3152. Среди изомеров состава C_7H_7OK выберите такой, из которого, не используя других углеродсодержащих соединений, в две стадии можно получить вещество состава $C_7H_6OBr_2$. Напи-

шите уравнения реакций, применяя структурные формулы веществ.

3153. Среди изомеров состава C_8H_9ONa выберите такой, из которого, не используя других углеродсодержащих соединений, в две стадии можно получить вещество состава C_8H_9OBr. Напишите уравнения реакций, применяя структурные формулы веществ.

3154. Среди соединений состава $C_2H_3O_2Na$ выберите такое, из которого в две стадии можно получить два простых вещества. Напишите уравнения реакций.

3155. Среди изомеров состава C_8H_8 выберите такой, из которого, не используя других углеродсодержащих соединений, в две стадии можно получить вещество состава C_8H_9ONa. Напишите уравнения реакций, применяя структурные формулы веществ.

3156. Среди изомеров состава C_4H_8O выберите такой, из которого, не используя других углеродсодержащих соединений, в две стадии можно получить вещество состава $C_4H_7O_3Na_3$. Напишите уравнения реакций, применяя структурные формулы веществ.

3157. Среди изомеров состава C_4H_8O выберите такой, из которого, не используя других углеродсодержащих соединений, в две стадии можно получить вещество состава $C_4H_8O_2Na_2$. Напишите уравнения реакций, применяя структурные формулы веществ.

3158. Среди соединений, имеющих состав $C_6H_{12}O_6$, выберите такое, из которого в две стадии можно получить нитроглицерин. Напишите уравнения реакций, применяя структурные формулы веществ.

3159. Среди соединений состава $C_6H_{10}O_2$ выберите такое, из которого в одну стадию можно получить два соединения, каждое из которых окисляется перманганатом калия (в разных условиях). В одном случае должно получиться соединение состава C_3H_6O, а в другом — $C_3H_6O_4$. Напишите уравнения реакций.

3160. Из двух разных соединений состава $C_6H_{10}O_3$ в одну стадию получите два разных соединения, одно из которых в реакции с гидроксидом натрия образует вещество состава $C_6H_8O_5Na_2$, а другое — вещество состава $C_6H_5O_6Na_3$. Напишите уравнения реакций.

3161. Среди соединений состава $C_{16}H_{28}O_2$ выберите такое, из которого в две стадии, не используя других углеродсодержащих соединений, можно получить вещество состава $C_{32}H_{62}O_8Ba$. Напишите уравнения реакций.

3162. Среди изомеров состава C_4H_9Cl выберите такой, из которого, не используя других углеродсодержащих соединений,

в четыре стадии можно получить вещество состава $C_8H_{15}O_2Cl$. Напишите уравнения реакций.

3163. Среди изомеров состава C_4H_7Br выберите такой, который имеет *цис-транс*-изомеры и из которого, не используя других углеродсодержащих соединений, в две стадии можно получить вещество состава $C_8H_{14}O$. Напишите уравнения реакций. Сколько пространственных изомеров имеет конечный продукт?

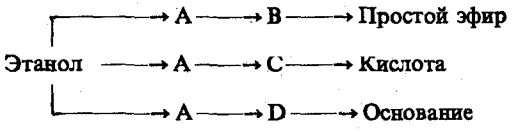
3164. Среди изомеров состава C_4H_8BrCl выберите такой, из которого, не используя других углеродсодержащих соединений, в две или три стадии можно получить вещество состава C_4H_8O. Напишите уравнения реакций.

3165. Соединение X имеет состав $C_6H_8O_6$. Оно реагирует с гидроксидом натрия в водном растворе в молярном соотношении 1 : 3 и с оксидом серебра в аммиачном растворе в том же молярном соотношении. Соединение X не реагирует с гидрокарбонатом натрия. Установите возможную структуру вещества X и напишите уравнения реакций, применяя структурные формулы веществ.

3166. Приведите конкретный пример синтеза (три реакции):

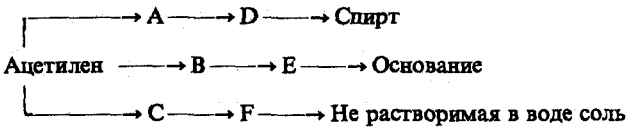
$$C_nH_{2n-2} \rightarrow C_{2n}H_{4n+2}O$$

3167. Составьте уравнения реакций в соответствии со схемой:



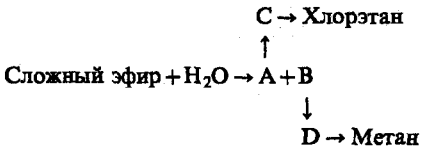
A, B, C, D — сложные органические и неорганические вещества.

3168. Составьте уравнения реакций в соответствии со схемой:

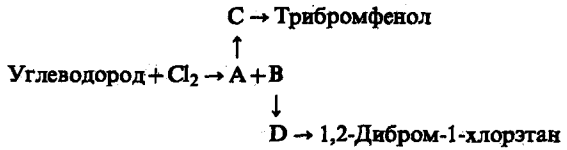


A, B, C, D, E, F — сложные органические и неорганические вещества.

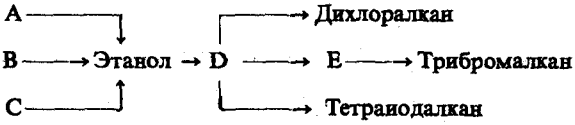
3169. Составьте уравнения реакций в соответствии со схемой:



3170. Составьте уравнения реакций в соответствии со схемой:



3171. Составьте уравнения реакций в соответствии со схемой:



A, B, C, D, E — сложные вещества.

3172. Составьте уравнение реакции с использованием структурных формул веществ, предварительно выбрав подходящее значение *n*:

$$C_nH_{2n}O_3 + KOH \rightarrow C_{n-3}H_{2n-4}O + X$$

Напишите для X уравнение реакции с серной кислотой, в результате которой образуется соединение, встречающееся в природе.

3173. Составьте уравнение реакции с использованием структурных формул веществ, предварительно выбрав подходящее значение *n*:

$$C_nH_{2n-2}O_4 + 2NaOH \rightarrow C_{n-4}H_{2n-9}O_2Na + H_2O + X$$

Напишите для X уравнение реакции с соляной кислотой, в результате которой образуется соединение, являющееся продуктом одного из типов брожения глюкозы.

3174. Составьте уравнение реакции с использованием структурных формул веществ, предварительно выбрав подходящее значение *n*:

$$C_nH_{2n}O_3 + H_2O \rightarrow C_{n-2}H_{2n-4}O_3 + X$$

X — вещество, применяющееся в медицине как дезинфицирующее средств. Напишите для X уравнение реакции с хлороводородом.

3175. Составьте уравнение реакции с использованием структурных формул веществ, предварительно выбрав подходящее значение *n*:

$$C_nH_nO_4 + 2NaOH \rightarrow C_{n-2}H_{n-6}O_4Na_2 + 2X$$

X — вещество, использующееся в производстве формальдегида и уксусной кислоты. Приведите уравнение реакции получения из X уксусной кислоты.

3176. Составьте уравнение реакции с использованием структурных формул веществ, предварительно выбрав подходящее значение *n*:

$$C_nH_{2n-10}O_4 + 2KOH \rightarrow C_{n-10}H_{2n-18}O + C_{n-11}H_{2n-20}O + X$$

Напишите для X уравнение реакции с соляной кислотой, в результате которой образуется соединение, использующееся в синтезе одного из синтетических волокон.

3177. Составьте уравнение реакции с использованием структурных формул веществ, предварительно выбрав подходящее значение *n*:

$$C_nH_{2n-11}O_2Cl + 2NaOH \rightarrow C_mH_{2m-8}ONaCl + H_2O + X;\ (n=4m)$$

X — вещество, образующееся при щелочном гидролизе некоторых веществ, относящихся к одному из важнейших классов природных соединений. Напишите для X уравнение реакции восстановления.

3178. Составьте уравнение реакции с использованием структурных формул веществ, предварительно выбрав подходящее значение *n*:

$$C_nH_{2n-2}O_{n-2} + H_2O \rightarrow C_{n-5}H_nO_{n-6} + X$$

X — вещество, остатки которого входят в состав веществ, относящихся к одному из важнейших классов природных соединений. Напишите для X уравнение реакции восстановления.

3179. Составьте уравнение реакции с использованием структурных формул веществ, предварительно выбрав подходящее значение *n*:

$$C_nH_{2n-6}O_7 + 3H_2O \rightarrow C_{n-6}H_{2n-12}O_4 + 3X$$

Приведите для X уравнение реакции с оксидом свинца(II), в результате которой образуется вещество, водный раствор которого используется в медицине для примочек.

3180. Составьте уравнение реакции с использованием структурных формул веществ, предварительно выбрав подходящее значение *n*:

$$C_nH_{n+9}O_9 + H_2O \rightarrow C_{n-6}H_{n-1}O_4 + X$$

X — вещество, применяющееся в качестве укрепляющего лечебного средства. Приведите уравнение реакции этерификации с участием вещества X.

3181. Составьте уравнение реакции с использованием структурных формул веществ, предварительно выбрав подходящее значение n:

$$C_nH_{2n-4}O_6 + 2H_2O \rightarrow C_{n-8}H_{2n-16}O_2 + C_{n-7}H_{2n-14}O_2 + X$$

X — вещество, остатки которого входят в состав веществ, относящихся к одному из важнейших классов природных соединений. Напишите для X уравнение реакции восстановления.

3182. Для сжигания 1 моль органического вещества необходимо 5,5 моль кислорода, при этом образуется 4 моль углекислого газа и 5 моль воды. Приведите структурные формулы четырех веществ, отвечающих этому условию.

3183. При окислении этанола дихроматом калия образовалась смесь равных масс альдегида и кислоты. Вычислите, какая часть спирта окислилась до кислоты, а какая — до альдегида (в % от исходного).

3184. Вычислите область допустимых значений массы перманганата калия, необходимой для окисления 10,0 г раствора ацетальдегида в пропаноле-1 в присутствии избытка серной кислоты.

3185. Бутаналь количеством вещества 1 моль разделили на равные части. Одну из них восстановили до спирта, другую окислили до кислоты. Вычислите область допустимых значений массы сложного эфира, который можно получить из образовавшихся продуктов, если известно, что выходы реакций окисления, восстановления и этерификации находятся в диапазоне от 50 до 70%.

3186. Какую массу эквимолярной смеси пропионовой и масляной кислоты необходимо взять для перевода в полные сложные эфиры продуктов реакции, образовавшихся при пропускании через слабощелочной раствор перманганата калия смеси бутена-1 и бутена-2? Известно, что масса образовавшегося осадка при этом оказалась равной 3,48 г.

3187. Какую массу пирокатехина следует обработать избытком натрия, чтобы выделившегося водорода хватило на восстановление 10,0 г метилового эфира метакриловой кислоты?

3188. Какой объем оксида углерода (II) (н. у.) следует взять для двухстадийного синтеза 1,50 кг уксусной кислоты, если выход продукта на каждой стадии составляет 75,0% от теоретического?

3189. При гидратации двух нециклических углеводородов, содержащих одинаковое число атомов углерода, образовались монофункциональные производные — спирт и кетон — в молярном

соотношении 1:2. Масса продуктов сгорания исходной смеси после пропускания через трубку с избытком безводного сульфата меди уменьшилась на 25,4%. Установите строение исходных углеводородов, если известно, что при пропускании их смеси через аммиачный раствор оксида серебра выпадает осадок, а один из них имеет разветвленный углеродный скелет.

3190. Смесь алкана и алкена с одинаковым разветвленным скелетом общей массой 226 г занимает объем 98,07 л (25 °С и 101 кПа). Эту смесь пропустили при нагревании с избытком водяных паров через трубку с фосфорной кислотой. После приведения реакционной смеси к исходным условиям объем газовой смеси уменьшился в два раза по сравнению с исходной смесью углеводородов. Смесь жидких изомеров обработали избытком перманганата калия в кислой среде и получили с 80%-м выходом 11,84 г органического вещества. Вычислите выход реакции, прошедшей по правилу Марковникова, и выход реакции, прошедшей против этого правила.

3191. Смесь оксида углерода (II) и водорода со средней молярной массой 7,2 г/моль пропустили при высокой температуре и давлении через катализатор, в результате чего средняя молярная масса при 100 °С составила 10 г/моль. Синтезированное вещество в соответствующих условиях вступило во взаимодействие с оксидом углерода (II). В выделенной смеси органических веществ массовая доля кислорода составила 51,85%. Эту смесь нагрели в присутствии концентрированной серной кислоты, в результате реакции этерификации масса органических веществ уменьшилась на 8,33% по сравнению с массой предыдущей смеси. Вычислите выходы всех трех реакций.

3192. При нагревании 12,0 г предельного одноатомного спирта с концентрированной серной кислотой был получен с выходом 75,0% простой эфир массой 7,65 г. Установите его строение, если известно, что исходный спирт при окислении дает вещество, вступающее в реакцию серебряного зеркала.

3193. При действии спиртового раствора гидроксида натрия на 10,0 г галогеналкана при выходе, равном не менее 70,0%, получено 2,1 г пропена. Вычислите массу образовавшейся при этом соли.

3194. При взаимодействии двух одинаковых порций бромэтана с гидроксидом калия (в одном случае — в водном растворе, в другом — в спиртовом) были получены одинаковые массы органических веществ. Выход какой реакции был больше и во сколько раз?

3195. В реакции смеси двух альдегидов с аммиачным раствором оксида серебра образовалось 0,28 моль серебра. При обработке серной кислотой отфильтрованного раствора выдели-

лось 896 мл (н. у.) углекислого газа и получилась кислота, которая с избытком этанола образовала 6,12 г сложного эфира. Вычислите массовые доли альдегидов в исходной смеси.

3196. При каталитическом окислении 13,44 л метана была получена смесь органических веществ, которую разделили на три равные части. Одну из них обработали избытком натрия, при этом выделилось 1,4 л газа; другую — избытком гидрокарбоната натрия, при этом выделилось 1,68 л газа. Третью порцию обработали избытком аммиачного раствора оксида серебра, при этом образовалось 27,0 г осадка. Вычислите, какая часть метана не подверглась окислению. Все объемы газов пересчитаны на нормальные условия.

3197. При окислении порции метана получена смесь продуктов, содержащая 6,87 моль атомов (метана не осталось). Полученную смесь продуктов реакции разделили на три равные части. Для нейтрализации одной из них требуется 20 мл раствора гидроксида натрия с концентрацией 7 моль/л. Другая порция может вступить в реакцию максимально с 80 г 4,2%-го раствора гидрокарбоната натрия. При обработке последней порции избытком аммиачного раствора оксида серебра (I) образовалось 34,56 г осадка. Вычислите массу спирта, образовавшегося при окислении всей порции метана.

3198. Смесь метанола и этаналя каталитически окислили кислородом, который вступил в реакцию полностью. Полученную смесь веществ обработали избытком раствора щелочи, после выпаривания получили 14,44 г сухого остатка с массовой долей гидроксида натрия 13,85%. Сухой остаток обработали 19,6%-м раствором серной кислоты до прекращения выделения газа, всего добавили 52,5 г. Оставшуюся смесь после удаления воды нагрели с избытком концентрированной серной кислоты, при этом образовалось 224 мл (н.у.) оксида углерода(II). Оставшаяся после поглощения щелочью смесь веществ имела плотность 1 г/л (100 кПа; 126 °С); после ее охлаждения к ней добавили избыток натрия, при этом выделилось 448 мл (н. у.) газа. Оставшуюся после обработки натрием смесь веществ нагрели с избытком аммиачного раствора оксида серебра, при этом выделилось 10,8 г серебра. Вычислите массы веществ в исходной смеси.

3.13. АМИНЫ

Амины — производные аммиака, в которых один или несколько атомов водорода замещены на углеводородные радикалы. Амины могут быть предельными, ненасыщенными или ароматическими. Примеры аминов:

CH_3-NH_2	$CH_3-NH-CH_2-CH=CH_2$	$(C_6H_5)_3N$
метиламин (первичный)	аллилметиламин (вторичный)	трифениламин (третичный)

Существуют также предельные циклические амины, диамины и полиамины.

Амины обладают основными свойствами, так как атом азота аминогруппы с неподеленной парой электронов способен присоединять протон, например:

$$RNH_2 + H_2SO_4 \rightarrow \overset{+}{R}NH_3 \cdot \overset{-}{H}SO_4$$

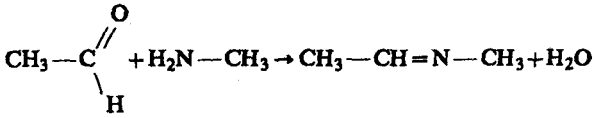
или

$$2RNH_2 + H_2SO_4 \rightarrow (RNH_3)_2SO_4$$

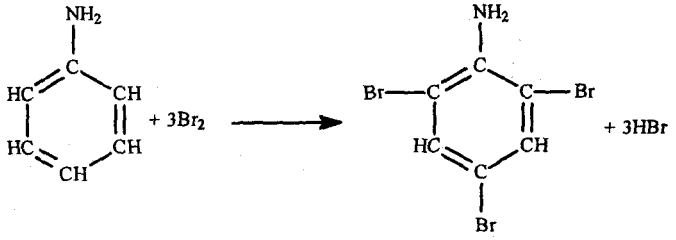
Предельные амины являются более сильными основаниями, чем аммиак; ароматические амины — слабее, чем аммиак. Предельные амины могут осаждать нерастворимые гидроксиды металлов из растворов солей, например:

$$FeCl_2 + 2R'R''NH + 2H_2O \rightarrow Fe(OH)_2\downarrow + 2R'R''NH_2Cl$$

Первичные амины реагируют с альдегидами и кетонами, образуя имины — основания Шиффа:



Аминогруппа — ориентант I рода, значительно облегчающий протекание реакций электрофильного замещения по ароматическому кольцу. При добавлении к анилину бромной воды образуется белый осадок трибромanилина (качественная реакция на ароматические амины):



Амины, как и подавляющее большинство органических соединений, горят. При их горении образуется азот:

$$C_nH_{2n+1}NH_2 + (1{,}5n + 0{,}75)O_2 \rightarrow nCO_2 + (n+1{,}5)H_2O + 0{,}5N_2$$

Амины чаще всего получают восстановлением нитросоединений. На примере анилина:

$$C_6H_5NO_2 + 3(NH_4)_2S \rightarrow C_6H_5NH_2 + 3S\downarrow + 6NH_3\uparrow + 2H_2O$$

Пример 81. Через 100 мл соляной кислоты с концентрацией хлороводорода 1,50 моль/л (пл. 1,025 г/мл) пропустили 2,00 л (н. у.) смеси, состоящей из первичного предельного амина и первичного непредельного (с одной двойной связью) амина, содержащих в молекулах одинаковое число атомов водорода и имеющую в парах плотность по водороду 26,0. Вычислите массовые доли веществ в образовавшемся растворе.

Решение. Представим формулы аминов: предельный $C_nH_{2n+3}N$; непредельный $C_mH_{2m+1}N$. По условию задачи $2n+3=2m+1$; откуда $m=n+1$, т. е. формулу непредельного амина можно представить так: $C_{n+1}H_{2n+3}N$.

Вычислим среднюю молярную массу смеси аминов:

$$M_{ср} = D_{водород} M(H_2) = 26 \cdot 2 = 52 \text{ г/моль}.$$

Предельный амин имеет меньшую молярную массу $(14n+17)$, непредельный — большую $(14n+29)$. Составим систему неравенств:

$$\begin{cases} 14n + 17 < 52, \\ 14n + 29 > 52, \text{ откуда } 1{,}64 < n < 2{,}5. \end{cases}$$

Поскольку n — целое число, единственно возможное решение $n=2$.

Пусть в исходной смеси $\varphi(C_2H_5NH_2) = x$; тогда, воспользовавшись формулой для расчета средней молярной массы, можно составить уравнение:

$$M_{ср} = M(C_2H_5NH_2)\,\varphi(C_2H_5NH_2) + M(C_3H_5NH_2)\,\varphi(C_3H_5NH_2);$$

$$52 = 45x + 57(1-x); \text{ откуда } x = 0{,}417.$$

Суммарное количество вещества аминов найдем по формуле

$$\nu(\text{смесь аминов}) = V(\text{смесь аминов}) : V_m;$$

$$\nu(\text{смесь аминов}) = 2 : 22{,}4 = 0{,}08929 \text{ моль}.$$

Теперь найдем количество вещества каждого амина:

$$\nu(X) = \varphi(X)\,\nu(\text{смесь аминов});$$

$$\nu(C_2H_5NH_2) = 0{,}417 \cdot 0{,}08929 = 0{,}03723 \text{ моль};$$

$$\nu(C_3H_5NH_2) = 0{,}583 \cdot 0{,}08929 = 0{,}05206 \text{ моль}.$$

Запишем уравнения реакций амина с хлороводородом:

$$C_2H_5NH_2 + HCl \rightarrow C_2H_5NH_2 \cdot HCl \qquad (I)$$

$$CH_2{=}CH{-}CH_2{-}NH_2 + 2HCl \rightarrow CH_3{-}CH(Cl){-}CH_2NH_2 \cdot HCl \qquad (II)$$

Вычислим количество вещества хлороводорода:

$$\nu(HCl) = c(HCl)\,V(HCl,\text{р-р});\ \nu(HCl) = 1{,}5 \cdot 0{,}1 = 0{,}15 \text{ моль}.$$

По уравнению реакции (I)

$$\nu(C_2H_5NH_2 \cdot HCl)_{обр} = \nu(HCl)_{встI} = \nu(C_2H_5NH_2) = 0{,}03723 \text{ моль}.$$

По уравнению реакции (II)

$$\nu(C_3H_6ClNH_2 \cdot HCl)_{обр} = \nu(C_3H_5NH_2) = 0{,}05206 \text{ моль};$$

$$\nu(HCl)_{встII} = 2\nu(C_3H_5NH_2) = 2 \cdot 0{,}05206 = 0{,}1041 \text{ моль}.$$

Таким образом, в реакции (I) и (II) вступает не весь хлороводород: $\nu(HCl) = \nu(HCl)_{встI} + \nu(HCl)_{встII} = 0{,}03723$ моль $+ 0{,}1041$ моль $= 0{,}1413$ моль; не прореагировавшим останется $0{,}150 - 0{,}1413 = 0{,}0087$ моль.

Найдем массы всех веществ, находящихся в растворе, по формуле

$$m(X) = M(X)\,\nu(X);$$

$$m(C_2H_5NH_3Cl) = 81{,}5 \cdot 0{,}03723 = 3{,}034 \text{ г};$$

$$m(C_3H_6ClNH_3Cl) = 130 \cdot 0{,}05208 = 6{,}770 \text{ г};$$

$$m(HCl) = 36{,}5 \cdot 0{,}0087 = 0{,}3176 \text{ г}$$

и массу самого раствора:

$$m(\text{р-р}) = m(HCl,\text{р-р}) + m(C_2H_5NH_2) + m(C_3H_5NH_2);$$

$$m(\text{р-р}) = V(HCl,\text{р-р})\,\rho(\text{р-р}) + M(C_2H_5NH_2)\,\nu(C_2H_5NH_2) +$$

$$+ M(C_3H_5NH_2)\,\nu(C_3H_5NH_2);$$

$$m(\text{р-р}) = 100 \cdot 1{,}025 + 45 \cdot 0{,}03723 + 57 \cdot 0{,}05208 = 102{,}5 + 1{,}675 + 2{,}969 = 107{,}1 \text{ г}.$$

Вычислим массовые доли веществ по формуле

$$\omega(X) = m(X) : m(\text{р-р});$$

$$\omega(C_2H_5NH_3Cl) = 3{,}034 : 107{,}1 = 0{,}0283, \text{ или } 2{,}83\%;$$

$$\omega(C_3H_6ClNH_3Cl) = 6{,}770 : 107{,}1 = 0{,}0632, \text{ или } 6{,}32\%;$$

$$\omega(HCl) = 0{,}3176 : 107{,}1 = 0{,}00297, \text{ или } 0{,}297\%.$$

Пример 82. Смесь диэтиламина, *трет*-бутиламина и метилизопропиламина общей массой 14,6 г сожгли в достаточном, но без избытка, объеме воздуха. Вычислите объем (н. у.) азота, находящегося в конечной смеси.

Решение. Диэтиламин, *трет*-бутиламин и метилизопропиламин являются изомерами и имеют формулу $C_4H_{11}N$. Запишем уравнение реакции для суммы аминов:

$$4C_4H_{11}N + 27O_2 \rightarrow 16CO_2 + 22H_2O + 2N_2$$

Вычислим суммарное количество вещества аминов по формуле

$$\nu(\text{амины}) = m(\text{амины}) : M(\text{амины});\ \nu(\text{амины}) = 14{,}6 : 73 = 0{,}2 \text{ моль}.$$

По уравнению реакции:

$$\nu(O_2) = {}^{27}/_{4}\,\nu(\text{амины}) = {}^{27}/_{4} \cdot 0{,}2 = 1{,}35 \text{ моль};$$

$$\nu(N_2) = 0{,}5\nu(\text{амины}) = 0{,}5 \cdot 0{,}2 = 0{,}1 \text{ моль}.$$

Вычислим количество вещества азота $\nu'(N_2)$, содержащегося в объеме воздуха, использованного для горения аминов:

$$\nu'(N_2) = \nu(O_2)\frac{\varphi(N_2)}{\varphi(O_2)} = 1{,}35\frac{0{,}79}{0{,}21} = 5{,}08 \text{ моль}.$$

Вычислим суммарное количество вещества азота и его объем:

$$\nu(N_2)_{\text{всего}} = \nu(N_2) + \nu'(N_2) = 0{,}1 + 5{,}08 = 5{,}18 \text{ моль};$$

$$\nu(N_2)_{\text{всего}} = 5{,}18 \cdot 22{,}4 = 116 \text{ л}.$$

ВОПРОСЫ, УПРАЖНЕНИЯ И ЗАДАЧИ

3199. Какие вещества называются аминами? Приведите формулы двух любых аминов.

3200. Какие вещества относятся к нитросоединениям? Приведите формулы двух любых нитросоединений.

3201. Какие ионы образуются при растворении метиламина в воде? Приведите уравнение реакции.

3202. Что обусловливает основные свойства анилина? Объясните, почему анилин не изменяет окраски лакмуса.

3203. Объясните, почему метиламин является более сильным основанием, чем аммиак, а анилин — более слабым основанием, чем аммиак.

3204. Опишите, не приводя уравнений реакций, что происходит с анилином при действии на него окислителей.

3205. Приведите пример реакции замещения, протекающей между анилином и простым веществом.

3206. Приведите пример органического вещества, являющегося солью и не содержащего в составе атомов кислорода.

3207. Приведите примеры двух веществ, в которых имеется связь между азотом и кислородом, причем одно из них относится к нитросоединениям, а другое — нет.

3208. Приведите примеры двух веществ, относящихся к разным классам соединений, в которых имеется связь между атомами азота и углерода.

3209. Приведите уравнение реакции получения амина на конкретном примере.

3210. Приведите уравнение реакции хлорида триметиламмония с раствором KOH.

3211. Напишите уравнение реакции в ионной форме, протекающей при взаимодействии в водном растворе между сульфатом железа (III) и метилдиэтиламином.

3212. Приведите четыре формулы газообразных веществ при н. у., молекулы которых состоят из трех атомов. Эти газы

должны быть тяжелее первого члена гомологического ряда предельных аминов, но легче третьего члена гомологического ряда алкенов.

3213. Напишите формулы всех соединений, имеющих в своем составе только бензольное кольцо, одну аминогруппу и две нитрогруппы.

3214. Приведите две возможные структурные формулы простейших третичных аминов, в которых все радикалы имеют одинаковый состав, но разное строение.

3215. Приведите структурную формулу простейшего амина с тремя разными по строению, но одинаковыми по составу ароматическими радикалами.

3216. Приведите структурные формулы всех непервичных аминов состава $C_6H_{15}N$, имеющих радикал с разветвленным углеродным скелетом.

3217. Напишите все изомерные третичные предельные амины, имеющие в своем составе девять углеродных атомов и все одинаковые радикалы.

3218. Приведите две структурные формулы вторичных аминов с одинаковыми углеродными радикалами и имеющими в составе 15 атомов водорода, но разное число атомов углерода.

3219. Приведите структурные формулы всех изомеров гексиламина, в молекулах которых атом азота связан только с углеродными атомами, а радикалы имеют неразветвленное строение.

3220. Напишите все изомеры состава $C_4H_{11}N$.

3221. Напишите формулы всех третичных аминов состава $C_6H_{15}N$.

3222. Напишите все изомерные третичные ароматические амины, имеющие в своем составе девять углеродных атомов и два одинаковых радикала.

3223. Приведите структурные формулы всех изомеров гексиламина, в молекулах которых по крайней мере два радикала имеют одинаковое строение.

3224. Среди перечисленных ниже веществ найдите такие, которые могут иметь изомеры: метиламин, хлорбромметан, диметиламин, метилбензол. Напишите для каждого из выбранных веществ по одному изомеру.

3225. Приведите формулу любого вторичного амина, существующего в форме *цис-* и *транс*-изомера.

3226. Приведите формулы изомеров фенилпропиламина и уравнение его реакции с серной кислотой.

3227. В трех цилиндрах находятся метиламин, оксид азота (II), аммиак. Опишите идентификацию веществ.

3228. В трех пробирках находятся анилин, гексан, масляная кислота. Опишите идентификацию веществ.

3229. В трех пробирках находятся глицерин, анилин, пропионовый альдегид. Опишите идентификацию веществ.

3230. Как распознать диметиламин, анилин, стирол, уксусную кислоту и этиленгликоль химическим способом?

3231. Вещество А — жидкость, при добавлении которой к водному раствору хлорида железа (III) выпадает бурый осадок. Газ, образующийся при сгорании вещества А, вызывает помутнение известковой воды. Приведите возможную формулу вещества А и реакций.

3232. Из ацетилена получите соединение, в состав которого будут входить атомы только C, H, Br, N.

3233. Из метана получите соединение, в состав которого входят только C, H, Cl, N.

3234. Среди изомерных бромхлорциклогексадиенов выберите такой, из которого в три стадии, не используя других углеродсодержащих соединений, можно получить анилин.

3235. К порции метиламина добавили его гомолог, при этом масса возросла в 2,4 раза, а число атомов азота увеличилось на 50%. Установите состав соединений и рассчитайте их массовые доли в смеси. Приведите структурные формулы всех изомерных аминов, отвечающих условию задачи и имеющих в молекуле 1 третичный атом углерода.

3236. Имеются две газообразные смеси двух аминов, относящихся к одному гомологическому ряду. Объемная доля одного амина в первой смеси равна объемной доле другого амина во второй смеси. Плотности этих смесей при нормальном давлении и температуре 200 °C равны 0,940 и 2,09 г/л. Установите состав обоих аминов и для амина с большей молярной массой напишите структурные формулы всех первичных аминов, имеющих хотя бы один вторичный атом углерода.

3237. В газообразной смеси двух аминов, относящихся к одному гомологическому ряду, их объемные доли различаются в 9 раз. Плотность этой смеси при нормальном давлении и температуре 220 °C равна 0,937 г/л. Установите состав обоих аминов и для амина с большей молярной массой напишите структурные формулы всех первичных аминов, имеющих один третичный атом углерода.

3238. Газообразная смесь трех ближайших гомологов предельных нециклических моноаминов имела относительную плотность по воздуху 2,662. При полном удалении из этой смеси гомолога с наибольшей молярной массой относительная плотность по воздуху снизилась до 2,324. Вычислите объемные доли аминов в исходной смеси и для амина с наибольшей молярной

массой приведите формулы всех первичных аминов, содержащих в молекуле не менее трех первичных атомов углерода.

3239. Объемная доля бутана в газовой смеси с амином, относящимся к гомологическому ряду метиламина, при 100 °С равна 30,0%, а массовая доля — 22,2%. Установите состав амина и напишите структурные формулы всех его изомеров, относящихся к первичным аминам и у которых число третичных и вторичных атомов углерода равно между собой.

3240. Смесь алкана и паров предельного моноамина с одинаковым числом атомов углерода в молекулах и смесь паров уксусной кислоты с метилформиатом имеют при одинаковых условиях одинаковую плотность. Вычислите массовую долю амина в первой смеси и напишите для него формулы изомеров, не имеющих третичных атомов углерода.

3241. В смеси паров диметилового эфира и вторичного амина с алкильными радикалами масса кислорода на 14,29% больше массы азота. Плотность этой смеси при нормальном давлении и температуре 190 °С равна 1,746 г/л. Установите состав амина и напишите структурные формулы всех его изомеров, имеющих не менее четырех первичных атомов углерода и являющихся вторичными аминами.

3242. Какую массу динитрофенола можно восстановить цинком массой 39,0 г в кислой среде?

3243. Диметиламин объемом 984 мл (23 °С, 100 кПа) пропустили через 15,0%-ю соляную кислоту массой 14,6 г. Рассчитайте массовые доли веществ в получившемся растворе.

3244. Какой объем триметиламина (нормальное давление, 25 °С) следует пропустить через 20,0 г 17,1%-го раствора сульфата алюминия для полного осаждения ионов алюминия?

3245. Смешали одинаковые массы 11,0%-го раствора хлорида бария и раствора сульфата метиламмония с концентрацией соли 2,00 моль/л (пл. 1,08 г/мл). Во сколько раз масса надосадочной жидкости больше массы выпавшего осадка?

3246. Массовая доля диметиламина в смеси с метилпропаном равна 50,0%. Во сколько раз уменьшится объем газа при пропускании его через разбавленный раствор серной кислоты?

3247. Смесь этана и диметиламина пропустили через раствор серной кислоты, объем газовой смеси при этом уменьшился втрое. Вычислите массовые доли газов в исходной смеси.

3248. Смесь азота, метиламина и метана пропустили через соляную кислоту, при этом объем газа сократился вдвое. Вычислите массовую долю углеводорода в исходной смеси, если известно, что атомов азота в ней в 4 раза меньше атомов водорода.

3249. При пропускании через разбавленный раствор серной кислоты смеси аммиака, метиламина и этана объем газа со-

кратился ровно в 4 раза. В продуктах сгорания объемная доля углекислого газа в 2 раза больше объемной доли азота. Вычислите массовую долю углеводорода в исходной смеси.

3250. При пропускании смеси триметиламина и пропана через склянку с разбавленным раствором азотной кислоты масса ее увеличилась на 3,54 г. Массовая доля азота в исходной смеси составляла 10,0%. Вычислите объем (н. у.) непоглотившегося газа.

3251. К 18 г диамина, при сгорании которого объем образующегося углекислого газа в 2 раза превышает объем азота, добавили 136,9 г 12,0%-го раствора хлороводородной кислоты. Вычислите массовые доли веществ в растворе.

3252. Объем газов, полученных при сжигании предельного моноамина, при пропускании через избыток известковой воды сократился в 11 раз. Рассчитайте массовую долю брома в бромоводородной соли этого амина.

3253. Для сжигания одного объема паров амина требуется 6,75 объема кислорода. В результате реакции образуется 10 объемов газообразных продуктов, из которых непоглощенными после пропускания через концентрированные растворы серной кислоты и гидроксида калия остается 0,5 объема. Напишите возможные формулы этого амина.

3254. Раствор пропиламина в диэтиловом эфире полностью сожгли в кислороде. Продукты сгорания пропустили через склянку с концентрированным раствором серной кислоты, масса которой увеличилась на 89,1 г. Объем газообразных продуктов реакции на выходе из склянки составил 88,5 л (н. у.). Вычислите массовую долю пропиламина в исходной смеси.

3255. Раствор бутиламина в ацетоне полностью сожгли в кислороде. Продукты сгорания пропустили через трубку с оксидом фосфора (V), масса которой увеличилась на 58,5 г. Объем газообразных продуктов реакции на выходе из трубки составил 70,56 л (н. у.). Вычислите массовую долю бутиламина в исходной смеси.

3256. К 0,3 моль смеси триметиламина и азота, имеющей плотность по воздуху 1,32, добавили 5,48 г хлороводорода. Вычислите плотность полученной газовой смеси при 20 °С и 95 кПа.

3257. К 6,42 л смеси метана и хлороводорода, имеющей плотность при 30 °С и 98 кПа 1,10 г/л, добавили 13,5 г этиламина. Вычислите плотность полученной газовой смеси по воздуху.

3258. Две газовые смеси, одна из которых состоит из неона и метиламина, а другая — из азота и хлороводорода, имеют одинаковую плотность, равную 1,20 г/л (20 °С, 100 кПа). Эти смеси привели в контакт друг с другом, в результате чего получилась новая смесь, состоящая из двух газов. Вычислите ее плотность при тех же условиях.

3259. Смесь водорода и метиламина общей массой 4,2 г (пл. 0,2905 г/л) смешали с 7,23 л бромоводорода (объемы газов измерялись при 20 °С и 101 кПа). Вычислите плотность полученной газовой смеси при 10 °С и 95 кПа.

3260. К 1,71 г смеси этана и бромоводорода с плотностью 1,908 г/л добавили 0,896 л метиламина (объемы газов измерялись при н. у.). Вычислите плотность полученной газовой смеси при 50 °С и 95 кПа.

3261. Смесь метиламина и метана общей массой 1,87 г с плотностью по воздуху 0,921, смешали с 440 мл иодоводорода. Вычислите плотность образовавшейся газовой смеси (все измерения объемов газов проводились при 105 кПа и 5 °С).

3262. К 11,5 л смеси водорода и бромоводорода, имеющей плотность при 25 °С и 97 кПа 1,80 г/л, добавили 6,20 г метиламина. Вычислите плотность полученной газовой смеси по азоту.

3263. Смесь диметиламина, этиламина и метана общей массой 18,6 г с плотностью по неону 1,1625 смешали с 6,72 л бромоводорода (н. у.). Вычислите, во сколько раз изменится плотность газовой смеси после реакции.

3264. К 10 л смеси этиламина и бутана добавили 4 л бромоводорода, после чего средняя молярная масса смеси стала равной 49,33 г/моль. Вычислите объемные доли веществ в исходной смеси.

3265. К 10 л смеси метиламина и кислорода добавили 5 л хлороводорода, после чего средняя молярная масса смеси стала равной 33,23 г/моль. Вычислите массовые доли веществ в исходной смеси.

3266. К 12 л смеси метиламина и метана добавили 8 л хлороводорода, после чего средняя молярная масса смеси стала равной 21,13 г/моль. Вычислите возможные значения объемной доли метиламина в исходной смеси.

3267. К 4,20 г смеси этана и этиламина добавили 448 мл хлороводорода (н. у.). Плотность по воздуху образовавшейся смеси газов оказалась равной 1,422. Вычислите объемные доли газов в исходной смеси.

3268. Массы хлороводорода и гидроксида калия, которые могут вступить в реакцию со смесью анилина и фенола, равны между собой. Вычислите массовую долю азота в исходной смеси.

3269. Массы бромоводорода и гидроксида натрия, которые могут вступить в реакцию со смесью анилина и *о*-крезола, равны между собой. При обработке этой смеси той же массы бромной водой образуется 50,0 г осадка. Вычислите массу исходной смеси.

3270. Количество вещества хлороводорода, с которым вступила в реакцию смесь 1,2-дивинилбензола и анилина, в 2,25 раза меньше количества вещества брома, с которым прореагировала

та же смесь той же массы (использовался раствор брома в тетрахлорметане). Вычислите молярное соотношение веществ в исходной смеси.

3271. Смесь аммиака и метилэтиламина с массовой долей азота, равной 45,16%, пропустили через 25%-й раствор азотной кислоты. При нагревании полученного раствора выделили обезвоженную смесь газов с относительной плотностью по гелию 6,35, в которой содержалось 1,45 моль атомов. Вычислите массу раствора азотной кислоты.

3272. Смесь диэтиламина, *трет*-бутиламина и метилизопропиламина общей массой 14,6 г сожгли в достаточном, но без избытка, объеме воздуха. Вычислите объем (н. у.) азота, находящегося в конечной смеси.

3273. Смесь диметилэтиламина, *втор*-бутиламина и метилпропиламина общей массой 29,2 г сожгли в двукратном, по сравнению с необходимым, объеме воздуха. Вычислите объемную долю кислорода в конечной смеси до и после конденсации паров воды.

3274. Для сжигания смеси двух ближайших гомологов ряда метиламина необходимый объем кислорода на 20,0% больше объема выделяющихся паров воды (при одинаковых условиях). Какой объем хлороводорода (н. у.) требуется для солеобразования с 1,00 г исходной смеси аминов?

3275. Смесь циклоалкана и предельного амина, в молекуле которого на один атом водорода больше, чем в молекуле циклоалкана, в 2 раза тяжелее воздуха. Вычислите массу вещества, образовавшегося после пропускания этой смеси объемом 3 л (н. у.) через 20 г 16,3%-го раствора хлороводородной кислоты.

3276. Смесь насыщенного амина и алкена, в молекуле которого число атомов водорода на 1 меньше, чем в молекуле амина, имеет равную с углекислым газом плотность. Вычислите объем (н. у.) газа, который останется после пропускания 20 г этой смеси через избыток раствора серной кислоты.

3277. Смесь вторичного предельного и первичного непредельного амина, содержащих в молекулах одинаковое число атомов водорода, в парах имеет плотность, равную с плотностью третьего члена гомологического ряда ацетилена. Во сколько раз изменится объем газообразных (при н. у.) веществ после пропускания продуктов сгорания смеси через известковую воду?

3278. В парах смесь предельного диамина и алкена, содержащих в молекулах одинаковое число атомов водорода, имеет плотность по воздуху, равную 1,982. Какая масса осадка образуется при пропускании продуктов сгорания 10 г такой смеси через избыток известковой воды?

3279. Смесь ненасыщенного (с одной двойной связью) одноатомного спирта и предельного диамина, содержащих в молекулах одинаковое число атомов водорода, имеет в парах плотность по аргону 1,70. Вычислите объем газообразных продуктов (при н. у.), образующихся при сжигании 10,0 г такой смеси.

3280. Смесь предельного амина и предельного одноатомного спирта, в молекуле которого на один атом водорода больше, чем в молекуле амина, имеет в парах плотность по водороду 25,0. Смесь объемом 2,00 л (100 °С, 101 кПа) сожгли, образовавшиеся продукты пропустили через трубку с безводным сульфатом меди. Вычислите, на сколько увеличится масса трубки.

3281. Смесь водорода и паров третичного амина, содержащего ароматическое кольцо, в молярном соотношении 20 : 1 с плотностью по водороду 3,833 нагрели над платиной при повышенном давлении, после чего плотность по водороду реакционной смеси стала равна 4,399. Установите строение амина и вычислите выход (%) продукта реакции (ароматическое кольцо гидрируется полностью, без раскрытия).

3282. При обработке на холоду натрием смеси двух изомеров, плотность паров которой в 2,5 раза больше плотности этана, образовалось 0,05 моль водорода. Такая же смесь той же массы может вступить в реакцию максимально с 0,25 моль хлороводорода. Установите состав изомеров, их возможное строение и вычислите их массы, если известно, что водный раствор смеси окрашивает лакмус в синий цвет и не реагирует с гидрокарбонатом натрия.

3283. Смесь аммиака и метиламина смешали с 27,15 г смеси бромоводорода и хлороводорода общим объемом 11,2 л (н.у.). Масса образовавшейся смеси солей оказалась в 3,23 раза больше исходной смеси аммиака и метиламина, а плотность оставшейся смеси галогеноводородов оказалась на 12,3% меньше плотности исходной смеси этих же веществ. Известно, что в реакции вступила половина всего хлороводорода. Вычислите массу метиламина в исходной смеси.

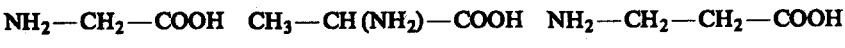
3284. Смесь фениламина и дибутиламина обработали хлороводородом. Полученную смесь, в которой массовая доля хлора составила 5%, обработали бромоводородом. После удаления избытка бромоводорода массовая доля брома в смеси твердых веществ составила 35%. Вычислите, во сколько раз конечная смесь тяжелее исходной.

3285. Смесь бромоводородных солей двух ближайших гомологов насыщенных ациклических моноаминов обработали раствором гидроксида натрия. После выпаривания раствора был получен сухой остаток, в котором массовая доля щелочи со-

ставила 16,26%. Масса этого остатка оказалась на 24,7% меньше массы исходной смеси солей. Какие гидросульфаты и какой массы можно получить из 4,9 г исходной смеси солей?

3.14. АМИНОКИСЛОТЫ

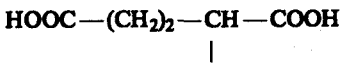
Аминокислоты — гетерофункциональные соединения, в состав которых входит карбоксильная группа —COOH и аминогруппа — NH_2. Простейшей аминокислотой является аминоуксусная кислота — *глицин*, ее ближайшим гомологом — аминопропионовая кислота, существующая в виде двух структурных изомеров:



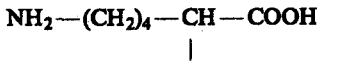
глицин | α-аминопропионовая кислота (аланин) | β-аминопропионовая кислота

По месту положения аминогруппы различают α-, β-, γ-аминокислоты. Все α-аминокислоты, кроме глицина, существуют в виде энантиомеров, так как в их структуре α-атом углерода асимметричен. Остатки α-аминокислот образуют структуру белков. Природные аминокислоты имеют международные трехбуквенные обозначения, например, для глицина Gly, для аланина Ala.

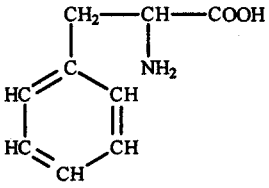
Многие аминокислоты имеют дополнительные функциональные группы или особенности углеродного скелета. Чтобы показать многообразие типов природных аминокислот, ниже приведем формулы еще шести:



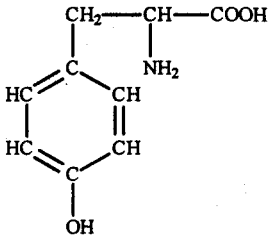
глутаминовая кислота (Glu)



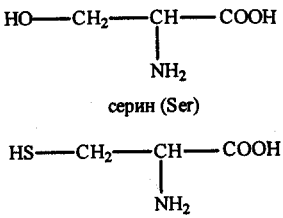
лизин (Lys)



фенилаланин (Phe)



тирозин (Tyr)



цистеин (Cys)

Аминокислоты — амфотерные соединения, сочетающие в себе свойства слабых кислот и слабых оснований. Они способны вступать в реакции как с кислотами, так и со щелочами. Ионные уравнения реакций в общем виде:

$$NH_2—CHR—COOH + H^+ \rightarrow \overset{+}{N}H_3—CHR—COOH$$

$$NH_2—CHR—COOH + OH^- \rightarrow NH_2—CHR—COO^- + H_2O$$

В водных растворах аминокислоты существуют преимущественно в виде биполярных ионов:

$$NH_2—CHR—COOH \rightarrow \overset{+}{N}H_3—CHR—COO^-$$

(перенос протона карбоксильной группы на аминогруппу).

Лизин может реагировать с ионом водорода в молярном соотношении 1 : 2 (из-за дополнительной аминогруппы), а *глутаминовая кислота* в таком же соотношении — с гидроксид-ионом (из-за дополнительной карбоксильной группы). Дополнительные кислотные функциональные группы имеются *у тирозина* (фенольный гидроксил), *серина* (спиртовый гидроксил) и *цистеина* (группа —SH). Цистеин и тирозин также реагируют с гидроксид-ионом в молярном соотношении 1 : 2. Все аминокислоты способны вступать в реакцию этерификации (по карбоксильной группе), а серин — дополнительно и по спиртовой группе. Фенилаланин и тирозин нитруются по ароматическому кольцу.

Один из основных способов получения аминокислот — из α-хлоркарбоновых кислот:

$$R—CHCl—COOH + 2NH_3 \rightarrow R—CH(NH_2)—COOH + NH_4Cl$$

Продукт конденсации двух аминокислот называется дипептидом:

$$NH_2—\underset{\displaystyle R'}{\underset{|}{CH}}—COOH + NH_2—\underset{\displaystyle R''}{\underset{|}{CH}}—COOH \rightarrow$$

$$\rightarrow NH_2—\underset{\displaystyle R'}{\underset{|}{CH}}—\overset{\displaystyle O}{\overset{\|}{C}}—\underset{\displaystyle H}{N}—\underset{\displaystyle R''}{\underset{|}{CH}}—COOH + H_2O$$

Группа атомов $—\overset{\displaystyle O}{\overset{\|}{C}}—\underset{\displaystyle H}{N}—$ называется пептидной (или амидной) группой.

Пример 83. Через раствор, содержащий 0,01 моль глутаминовой кислоты, пропустили 0,02 моль хлороводорода, а затем добавили 0,045 моль гидроксида натрия. Какого вещества в остатке, полученном после выпаривания раствора, будет больше по массе, а какого — по количеству вещества?

Решение. Запишем уравнение реакции, протекающей между глутаминовой кислотой (Glu) и хлороводородом:

$$HOOC-(CH_2)_2-\underset{\displaystyle NH_2}{\underset{|}{CH}}-COOH + HCl \rightarrow HOOC-(CH_2)_2-\underset{\displaystyle NH_2\cdot HCl}{\underset{|}{CH}}-COOH \quad (I)$$

По уравнению реакции (I):

$$\nu(Glu\cdot HCl)_{обр} = \nu(HCl)_{вст} = \nu(Glu) = 0{,}01 \text{ моль}.$$

$$\nu(HCl)_{ост} = \nu(HCl)_{доб} - \nu(HCl)_{вст} = 0{,}02 - 0{,}01 = 0{,}01 \text{ моль}.$$

Гидроксид натрия реагирует с оставшимся хлороводородом и хлороводородной солью глутаминовой кислоты:

$$HCl + NaOH \rightarrow NaCl + H_2O \quad (II)$$

$$HOOC-(CH_2)_2-\underset{\displaystyle NH_2\cdot HCl}{\underset{|}{CH}}-COOH + 3NaOH \rightarrow$$

$$\rightarrow NaOOC-(CH_2)_2-\underset{\displaystyle NH_2}{\underset{|}{CH}}-COONa + NaCl + 3H_2O \quad (III)$$

По уравнению реакции (II):

$$\nu(NaOH)_{II} = \nu(HCl)_{ост} = 0{,}01 \text{ моль}.$$

По уравнению реакции (III):

$$\nu(NaOH)_{III} = 3\nu(Glu\cdot HCl) = 3\cdot 0{,}01 = 0{,}03 \text{ моль};$$

$$\nu(\text{динатриевая соль Glu}) = \nu(Glu\cdot HCl) = 0{,}01 \text{ моль}.$$

Вычислим количество вещества и массу не вступившего в реакцию гидроксида натрия:

$$\nu(NaOH)_{ост} = \nu(NaOH)_{доб} - \nu(NaOH)_{II} - \nu(NaOH)_{III} =$$

$$= 0{,}045 - 0{,}01 - 0{,}03 = 0{,}005 \text{ моль};$$

$$m(NaOH) = M(NaOH)\cdot\nu(NaOH);\ m(NaOH) = 40\cdot 0{,}005 = 0{,}2 \text{ г}.$$

Суммарное количество вещества NaCl равно количеству вещества добавленного хлороводорода, т. е. 0,02 моль, что соответствует массе $58{,}5\cdot 0{,}02 = 1{,}17$ г.

Вычислим массу динатриевой соли глутаминовой кислоты по формуле

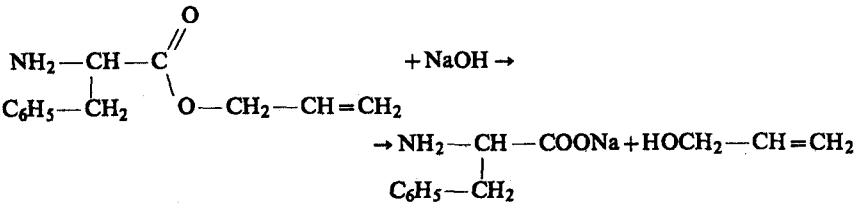
$$m = M\nu;\ m(\text{динатриевой соли Glu}) = 191\cdot 0{,}01 = 1{,}91 \text{ г}.$$

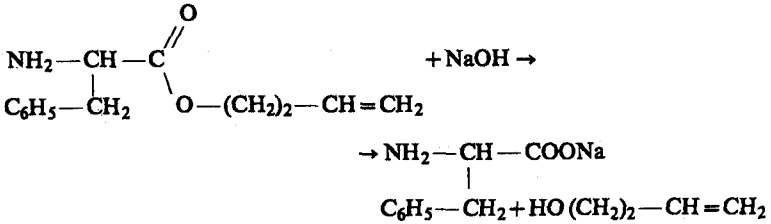
Таким образом, максимальная масса среди трех веществ полученной смеси приходится на динатриевую соль глутаминовой кислоты, а максимальное количество вещества — на хлорид натрия.

Пример 84. В смеси двух ближайших гомологов сложных эфиров, образованных фенилаланином и одноатомными спиртами, массовые доли веществ равны. Какую массу этой смеси можно подвергнуть гидролизу с помощью 8,00 г гидроксида натрия, находящегося в водном растворе, если известно, что в молекуле низшего гомолога число атомов водорода в 15 раз больше числа атомов азота, а в молекуле высшего гомолога всего 33 атома?

Решение. Представим формулу низшего гомолога $C_nH_{15}O_2N$, тогда формула высшего гомолога $C_{n+1}H_{17}O_2N$. Общее число атомов в молекуле высшего гомолога $n+1+17+3=33$; откуда $n=12$.

Запишем уравнения реакций щелочного гидролиза:





Вычислим количество вещества NaOH, вступившего в реакцию:

$$\nu(\text{NaOH}) = m(\text{NaOH}) : M(\text{NaOH});\ \nu(\text{NaOH}) = 8 : 40 = 0{,}2 \text{ моль}.$$

Пусть $m(\text{смеси}) = x$ (г); тогда $m(C_{12}H_{15}O_2N) = m(C_{13}H_{17}O_2N) = 0{,}5x$. Выразим количества веществ обоих эфиров:

$$\nu(C_{12}H_{15}O_2N) = 0{,}5x : 205 = 0{,}002439x;$$

$$\nu(C_{13}H_{17}O_2N) = 0{,}5x : 219 = 0{,}002283x.$$

В соответствии со стехиометрическими соотношениями приведенных выше реакций:

$$\nu(\text{NaOH}) = \nu(C_{12}H_{15}O_2N) + \nu(C_{13}H_{17}O_2N) = 0{,}002439x + 0{,}002283x = 0{,}004722x.$$

По условию задачи $0{,}004722x = 0{,}2$, откуда $x = 42{,}4$, т. е. гидролизу можно подвергнуть 42,4 г смеси.

ВОПРОСЫ, УПРАЖНЕНИЯ И ЗАДАЧИ

3286. Какие вещества называются аминокислотами?

3287. Что называют пептидной группой?

3288. Приведите схему, показывающую образование биполярного иона на примере глицина.

3289. Приведите формулу природной аминокислоты, имеющей в составе гидроксильную группу.

3290. В каких условиях протекает гидролиз белков? Приведите схему этого процесса.

3291. Приведите примеры α- и β-аминокислот.

3292. Приведите примеры аминокислот с разветвленным и неразветвленным углеродным скелетом, назовите их.

3293. Приведите формулу природной аминокислоты с преобладающими основными свойствами; с преобладающими кислотными свойствами.

3294. Приведите формулу природной аминокислоты, для которой будут характерны некоторые свойства фенолов.

3295. Приведите пример простого вещества, вступающего в реакцию как с анилином, так и с тирозином.

3296. Какая природная аминокислота может вступать в реакцию этерификации с карбоновой кислотой? Приведите пример реакции.

3297. Приведите формулы двух изомеров, один из которых относится к аминокислотам, а другой — к сложным эфирам.

3298. К перечисленным веществам: аланин, циклопропан, этиленгликоль, метилциклопропан добавьте два, в результате должны получиться три пары ближайших гомологов. Напишите формулы всех веществ и укажите пары гомологов.

3299. Среди перечисленных ниже веществ найдите такие, которые могут иметь изомеры: муравьиная кислота, акриловая кислота, молочная кислота, аланин. Напишите для каждого из выбранных веществ по одному изомеру.

3300. Треонин является α-аминокислотой, ближайшим гомологом серина с большим числом углеродных атомов (функциональные группы расположены у соседних атомов С). Напишите уравнения реакций этой аминокислоты с избытком гидросульфата натрия в водном растворе.

3301. Приведите молекулярную формулу ($C_xH_yO_zNa$), общую для полных сложных эфиров фруктозы и аминокислот гомологического ряда глицина. Составьте уравнение реакции горения в общем виде таких сложных эфиров.

3302. В трех пробирках находятся крахмал, тирозин, аминоуксусная кислота. Опишите идентификацию веществ.

3303. В трех пробирках находятся глюкоза, пальмитиновая кислота, фенилаланин. Опишите идентификацию веществ.

3304. В трех пробирках находятся сахароза, стеариновая кислота, тирозин. Опишите идентификацию веществ.

3305. В трех пробирках находятся этилат натрия, фенилаланин, гидроксид натрия. Опишите идентификацию веществ.

3306. В трех пробирках находятся сахароза, ацетат натрия, бромид фенилаланина. Опишите идентификацию веществ.

3307. В растворе находятся дипептид фенилаланина, рибоза и сахароза. Как с помощью химических реакций доказать наличие в растворе всех веществ?

3308. Напишите уравнения всех реакций и опишите процедуры, которые необходимо выполнить для получения этилового эфира аминоуксусной кислоты из метилового эфира аминоуксусной кислоты и этилового эфира α-аминокапроновой кислоты.

3309. Из пропаналя, не используя другие углеродсодержащие соединения, получите пропиловый эфир аланина. Напишите уравнения реакций.

3310. Из 1-бромбутана получите гидросульфат α-аминомасляной кислоты, не используя другие углеродсодержащие вещества. Напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания.

3311. Из метана получите глицин, не используя другие углеродсодержащие вещества.

3312. Из 1-иодпропана получите аланин, не используя другие углеродсодержащие вещества.

3313. Из *н*-пропилового эфира хлоруксусной кислоты получите изопропиловый эфир глицина, не используя другие углеродсодержащие вещества.

3314. Из этаналя получите этиловый эфир глицина, не используя другие углеродсодержащие вещества.

3315. Из бутана получите метиловый эфир аминоуксусной кислоты, не используя другие углеродсодержащие вещества.

3316. Из *н*-бутилового эфира дихлоруксусной кислоты получите любую аминокислоту, не используя другие углеродсодержащие вещества.

3317. Из оксида углерода (II) получите два соседних гомолога сложных эфиров аминокислот, не используя другие углеродсодержащие вещества.

3318. Из метана получите два не соседних гомолога сложных эфиров аминокислот, не используя другие углеродсодержащие вещества.

3319. Из бутана получите глицин, не используя другие углеродсодержащие вещества.

3320. Из этилового эфира аланина получите глицин, не используя другие углеродсодержащие вещества.

3321. Из глюкозы получите калиевую соль α-аминомасляной кислоты, не используя другие углеродсодержащие вещества.

3322. Имея бутанол-2, азот, воду, концентрированную серную кислоту, хлор и необходимые катализаторы, получите, не прибегая к крекингу, глицин.

3323. Из 4-нитротолуола, перманганата калия, цинка и серной кислоты получите, не расходуя других веществ, гидросульфат 4-аминобензойной кислоты.

3324. Из сложного эфира состава $C_5H_8O_2$ получите, не используя других углеродсодержащих соединений, две аминокислоты, являющиеся ближайшими гомологами.

3325. Имеются этиловый эфир глицина, серная кислота, перманганат калия и вода. Добавьте к ним одну из природных пентоз и получите с помощью только этих веществ полный сложный эфир состава $C_{15}H_{22}O_{10}$. Выбор катализаторов и процессов не ограничен.

3326. Имеются этиловый эфир аланина, перманганат калия, серная кислота и вода. Добавьте к ним одну из природных пентоз и получите с помощью только этих веществ, не прибегая к электролизу, полный сложный эфир состава $C_{13}H_{18}O_9$.

3327. Имеются этиловый эфир цистеина, натрий, перманганат калия, оксид серы (VI) и вода. Добавьте к ним одну из природных пентоз и получите с помощью только этих веществ, не прибегая к электролизу, полный сложный эфир состава $C_{13}H_{20}O_8$. Выбор катализаторов не ограничен.

3328. Имеются сложный эфир серина и муравьиной кислоты, оксид серы (IV) и вода. Добавьте к ним одну из природных пентоз и получите с помощью только этих веществ полный сложный эфир состава $C_8H_{10}O_7$. Выбор катализаторов и процессов не ограничен.

3329. В смеси двух ближайших гомологов, относящихся к гомологическому ряду глицина, массовая доля азота равна 12,5%. Установите состав соединений и рассчитайте их массовые доли. Для того гомолога, молекул которого в смеси содержится больше, приведите формулы всех структурных изомеров, относящихся к аминокислотам и содержащих один третичный атом углерода.

3330. К 80,0 г раствора аланина добавили 5,04 г гидрокарбоната натрия, при этом выделилось 896 мл (н. у.) газа. Вычислите массовые доли веществ в образовавшемся растворе.

3331. К 500 г 4,20%-го раствора серина добавили 25,0 г 48,0%-го раствора гидроксида натрия. Вычислите массовые доли веществ в образовавшемся растворе.

3332. Тирозин массой 9,05 г растворили в 200 г 2,10%-го раствора гидроксида калия. Вычислите массовые доли веществ в образовавшемся растворе.

3333. К 22,05 г 3-аминопентандиовой кислоты добавили 350 г 4,00%-го раствора гидроксида калия. Вычислите массовые доли веществ в получившемся растворе.

3334. К 7,08 г монокарбоновой кислоты с метилпропановым скелетом и двумя первичными аминогруппами добавили 116,8 г

2,50%-ного раствора хлороводородной кислоты. Вычислите массовые доли веществ в получившемся растворе.

3335. Вычислите массу соли, которая образуется при смешении по 15 г насыщенных растворов гидроксида кальция и фенилаланина (растворимости равны: гидроксида кальция 0,165 г/100 г воды, фенилаланина 3,0 г/100 г воды).

3336. Какой объем (н. у.) бромоводорода следует пропустить, чтобы серин, находящийся в 150 г его насыщенного раствора, полностью перевести в соль (растворимость серина равна 5 г/100 г воды)?

3337. Какую массу насыщенного раствора гидроксида бария следует добавить к 50 г насыщенного раствора аланина для полного перевода аминокислоты в соль (растворимости равны: гидроксида бария 3,84 г/100 г воды, аланина 3,0 г/100 г воды)?

3338. К водному раствору, содержащему 2,00 ммоль тирозина и 0,500 ммоль фенилаланина, добавили 5,50 ммоль гидроксида калия. Вычислите массы всех веществ в остатке, полученном после выпаривания раствора.

3339. К водному раствору, содержащему 0,100 моль тирозина и 0,200 моль аланина, добавили 0,500 моль NaOH. Какого вещества в остатке, полученном после выпаривания раствора, будет больше по массе, а какого — по количеству вещества? Ответ подтвердите расчетами.

3340. К смеси, состоящей из 0,05 моль динатриевой соли глутаминовой кислоты и 0,1 моль натриевой соли лизина, добавили 0,5 моль HCl в водном растворе. Установите, какого вещества в сухом остатке, полученном после выпаривания раствора, будет больше по массе, а какого — по количеству.

3341. К раствору, содержащему 0,02 моль глутаминовой кислоты, добавили сначала 0,01 моль серной кислоты, а затем — 0,08 моль гидроксида калия. Вычислите массу остатка, полученного после выпаривания раствора.

3342. К водному раствору, содержащему 0,2 моль лизина, добавили сначала 0,1 моль гидроксида натрия, а затем — 0,7 моль хлороводорода. Вычислите массу остатка, полученного после выпаривания раствора.

3343. Для полного солеобразования смеси глутаминовой кислоты и лизина требуется 50,0 г 32,0%-го раствора гидроксида натрия или 11,2 л (н. у.) хлороводорода. Вычислите объем азота, который выделится при полном сгорании такой смеси аминокислот.

3344. Какая масса смеси серина и аланина с молярным соотношением компонентов 2 : 3, находящаяся в безводном растворителе, может вступить в реакцию с 0,46 г натрия?

3345. Вычислите объем газа (150 °С, 100 кПа), который выделится при взаимодействии с натрием 5 г смеси тирозина и глицина (в инертном растворителе), в которой молярное соотношение компонентов равно 4 : 3.

3346. Какой объем раствора азотной кислоты с концентрацией 1,5 моль/л необходим для солеобразования с 1,8 г смеси лизина и фенилаланина, в которой молярное соотношение компонентов равно 3 : 1?

3347. Суммарное количество вещества в смеси аланина, тирозина и фенилаланина равно 0,5 моль, соотношение масс компонентов равно 1 : 3 : 2. Вычислите массы солей, которые образуются при обработке смеси 75,6 мл раствора гидроксида натрия (пл. 1,27 г/мл) с массовой долей 0,25.

3348. Суммарное количество вещества в смеси глицина и серина в водном растворе объемом 2,5 л — 0,3 моль, а соотношение масс равно 2 : 5. Вычислите молярные концентрации веществ в растворе, полученном при пропускании 8,96 л (н. у.) хлороводорода (изменением объема раствора за счет поглощения газа пренебречь).

3349. К 50 г раствора, содержащего смесь равных масс хлорида метиламмония и гидросульфата глицина, добавили 200 мл раствора KOH с концентрацией 4 моль/л (пл. 1,18 г/мл) и затем нагрели до полного удаления газообразного продукта. Вычислите массовые доли веществ в получившемся растворе, если известно, что суммарное количество вещества в исходной смеси было равно 0,2 моль.

3350. В смеси глицина и цистеина число атомов кислорода в 2 раза больше числа Авогадро. Вычислите объем этанола (пл. 0,8 г/мл), который теоретически необходим для проведения реакции этерификации с этой смесью.

3351. В смеси аланина и молочной кислоты число атомов азота равно $1{,}505 \cdot 10^{23}$, число атомов кислорода $6{,}622 \cdot 10^{23}$. Вычислите объем раствора гидроксида калия с концентрацией 3,50 моль/л, необходимый для солеобразования с этой смесью.

3352. В смеси гидросульфата аланина и сульфата глицина число атомов серы равно $3{,}612 \cdot 10^{23}$, а число атомов азота равно числу Авогадро. Вычислите максимальный объем 40,0%-го раствора гидроксида калия (пл. 1,40 г/мл), который может вступить в реакцию с этой смесью.

3353. В смеси фенилаланина, аланина и глицина число атомов азота в 3 раза меньше числа Авогадро. Вычислите, какой объем раствора смеси гидроксидов калия и натрия, концентрации щелочей в котором равны соответственно 0,2 и 0,4 моль/л, может вступить в реакцию с этой смесью.

3354. Смесь серина и цистеина, в которой число атомов углерода равно $3{,}01 \cdot 10^{23}$, сожгли, а продукты сгорания пропустили через избыток известковой воды. Вычислите объем непоглотившегося газа (н. у.).

3355. В смеси хлорида фенилаланина и хлорида тирозина число атомов хлора равно $6{,}02 \cdot 10^{22}$. Вычислите, какой объем 30,0%-го раствора гидроксида натрия (пл. 1,33 г/мл) необходим для выделения свободных аминокислот.

3356. Смесь глицина, метилового эфира, глицина и аланина общей массой 55,3 г может вступить в реакцию с 17,2 л (нормальное давление, 25 °С) галогеноводорода. Вычислите массовую долю глицина в исходной смеси.

3357. Смесь лизина и триметиламина, которая может вступить в реакцию с 10 ммоль метанола или с 40 ммоль хлороводорода, растворили в 100 г 1,0%-го раствора серной кислоты. К полученному раствору добавили 3 г 10,0%-го олеума. Вычислите массовые доли веществ в образовавшемся растворе.

3358. При щелочном гидролизе сложного эфира массой 81,2 г образуются соль А и спирт. При дегидратации спирта получается 17,92 л (н. у.) этилена. Для получения из соли А соли природной α-аминокислоты требуется 43,8 г хлороводорода. Установите строение сложного эфира.

3359. В смеси двух ближайших гомологов сложных эфиров, образованных лизином и одноатомными спиртами, количества веществ равны. Какую массу соли лизина можно получить при проведении гидролиза 10,0 г такой смеси в присутствии большого избытка хлороводорода, если известно, что в молекуле низшего гомолога число атомов составляет 34, а в молекуле высшего гомолога число атомов водорода в 2 раза больше числа атомов углерода?

3360. При щелочном гидролизе сложного эфира образуются соль А и спирт. При окислении спирта получается 11,6 г ацетона. Максимальная масса азотной кислоты, с которой может вступить в реакцию соль А, равна 37,8 г; при этом образуется соль природной α-аминокислоты массой 54,4 г. Установите строение сложного эфира.

3361. При щелочном гидролизе сложного эфира образуются две соли — А и В. Соль А при прокаливании с гидроксидом калия образует 8,96 л (н. у.) алкана массой 6,40 г. Максимальная масса бромоводорода, с которым может вступить в реакцию соль В, равна 97,2 г; при этом образуется соль природной α-аминокислоты массой 104,8 г. Установите строение сложного эфира.

3362. При гидролизе сложного эфира были получены вторичный спирт и природная α-аминокислота с одной аминогруппой.

Продукты сгорания, образовавшиеся при раздельном сжигании кислоты и спирта, пропустили в одном случае через избыток водного раствора гидроксида бария (масса осадка 23,64 г), в другом случае через избыток известковой воды (масса осадка 12,0 г). Объем непоглощенного газа в одном из случаев составил 448 мл (н. у.) Установите строение сложного эфира.

3363. Какой объем 15,2%-го раствора гидроксида калия (пл. 1,14 г/мл) потребуется для гидролиза смеси этилового эфира аминоуксусной кислоты и эфира, образованного аминоэтанолом и уксусной кислотой, если известно, что число атомов кислорода в этой смеси равно $3{,}01 \cdot 10^{23}$?

3364. Какой объем 30,0%-го раствора гидроксида калия (пл. 1,30 г/мл) необходим для полного гидролиза смеси, состоящей из этилового эфира серина и неполного эфира этиленгликоля и аланина, если известно, что для солеобразования необходимо 5 мл раствора HCl с концентрацией 5 моль/л? На сколько изменится масса трубки с оксидом фосфора (V) после пропускания через нее продуктов сгорания этой смеси такой же массы?

3365. Вычислите объем раствора гидроксида калия ($c=2$ моль/л), необходимый для гидролиза 10 г смеси двух соседних гомологов сложных эфиров α-аминокислот. В молекулах эфиров нет кратных C—C-связей и дополнительных функциональных групп; в молекуле высшего гомолога число атомов углерода в 3 раза больше числа атомов кислорода. Массовые доли эфиров в смеси равны.

3366. Вычислите массу смеси двух соседних гомологов сложных эфиров α-аминокислот, которую можно гидролизовать с помощью 150 мл раствора гидроксида натрия ($c=2{,}5$ моль/л). В молекулах эфиров нет кратных C—C-связей и дополнительных функциональных групп; в молекуле низшего гомолога число атомов углерода в 2 раза больше числа атомов кислорода. Количества веществ эфиров в смеси равны.

3367. Сложный эфир, образованный соединениями гомологических рядов глицина и метанола, подвергли гидролизу в присутствии хлороводорода. Массовая доля азота в одном из продуктов гидролиза составила 10,0%, в то время как в исходном соединении массовая доля азота была равна 9,655%. Установите состав сложного эфира и предложите возможное строение (три-четыре структурные формулы).

3368. Смесь веществ, образовавшуюся при сгорании соединения гомологического ряда лизина, пропустили через трубку с оксидом фосфора (V). Вышедшую из трубки смесь газов затем пропустили через избыток известковой воды, при этом объем уменьшился ровно в 5 раз. Вычислите массу этилового эфира

этой аминокислоты, которую можно получить из 5,00 г аминокислоты.

3369. Продукты сгорания, образовавшиеся при полном сжигании аминокислоты гомологического ряда глицина, пропустили через трубку с безводным сульфатом меди. Оставшуюся смесь газов пропустили через избыток раствора щелочи. Объем газов сократился при этом в 11 раз. Какой объем раствора хлороводорода с концентрацией 2,00 моль/л требуется для солеобразования с 3,00 г исходной аминокислоты?

3370. Порцию кислоты состава $C_6H_5NO_2$, не реагирующей с бромной водой, обработали избытком водного раствора гидрокарбоната аммония. Полученную соль обработали точно рассчитанным (без избытка) объемом раствора азотной кислоты. Массовая доля азота в полученном растворе составила 2,5%. Вычислите массовую долю нитрат-ионов в этом растворе.

3371. Смесь двух моноаминомонокарбоновых кислот общей массой 46,3 г, различающихся по составу только на один атом углерода и не содержащих других функциональных групп, растворили в 250 г 18,9%-го раствора азотной кислоты. Массовая доля азотной кислоты в полученном растворе снизилась на 13,6%. Вычислите массовые доли других, кроме воды, веществ в этом растворе.

3.15. ПЕПТИДЫ И БЕЛКИ

Белки — полиамиды, которые можно рассматривать как полимеры аминокислот, полученные в результате конденсации.

Белки называют полипептидами, потому что в их молекулах многократно повторяется пептидная группа. Аминокислотную последовательность называют первичной структурой белка. При написании полных формул больших полипептидных цепей часто указывают только порядок следования друг за другом аминокислотных остатков с помощью трехбуквенных обозначений, например для начала полипептидной цепочки инсулина: Gly—Ile——Val—Glu— и т. д., что соответствует последовательности: глицин — изолейцин — валин — глутаминовая кислота —. Полипептидную цепь принято записывать, начиная с N-конца, т. е. с конца, содержащего свободную NH_2-группу. Белки имеют также вторичную структуру (конформация молекулы, чаще всего α-спираль или «складчатый лист»), третичную и четвертичную структуры (более подробно разбираются в курсе биологии).

В зависимости от формы макромолекул различают глобулярные (шаровидные) и фибриллярные (нитевидные) белки. К глобулярным относятся широко распространенные в органах и тканях

животных альбумины и глобулины, к фибриллярным — основной белок соединительной ткани — коллаген. Глобулярные белки достаточно хорошо растворяются в воде. Многие фибриллярные белки, в том числе и коллаген, являются нерастворимыми белками.

При воздействии внешних факторов белки могут подвергаться денатурации (нарушение четвертичной, третичной или даже вторичной структуры). Денатурация может быть тепловой и химической (соли тяжелых металлов, этанол). Различают обратимую и необратимую денатурацию.

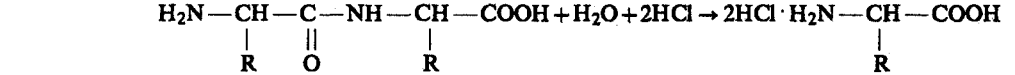
При изменении кислотности среды (добавление разбавленных растворов кислот или щелочей, не вызывающее денатурации) происходит протонирование или депротонирование концевой аминогруппы, концевой карбоксильной группы и, что самое важное, дополнительных функциональных групп, находящихся в боковых цепях. Следует помнить, что амидная группа не протонируется. Протонирование и депротонирование функциональных групп молекулы белка приводит к изменению ее конформации.

В более жестких условиях кислоты и щелочи вызывают гидролиз пептидов и белков. При проведении гидролиза как в кислой, так и в щелочной средах образуются соли аминокислот.

Существуют цветные реакции, которые используются для идентификации белков и некоторых пептидов. Наиболее универсальной является реакция на пептидную группу — появление красно-фиолетовой окраски при добавлении к раствору белка суспензии гидроксида меди (II) в щелочи (биуретовая реакция). Реакция на остатки ароматических кислот — ксантопротеиновая проба (пожелтение при обработке белка концентрированной азотной кислотой вследствие реакции нитрования ароматических колец тирозина и фенилаланина). Серосодержащие белки дают черное окрашивание при нагревании их растворов с ацетатом свинца (II) и щелочью (осадок PbS).

Пример 85. При кислотном гидролизе 33,0 г дипептида образовалось только одно вещество — хлороводородная соль одной из аминокислот. Масса этой соли равна 55,75 г. Установите строение дипептида.

Решение. Из условия задачи очевидно, что дипептид состоит из остатков одной аминокислоты. Запишем уравнение реакции кислотного гидролиза:



Суммарная масса воды и хлороводорода, вступивших в реакцию, представляет собой разницу между массой образовавшейся соли и массой исходного дипептида: $55{,}75 - 33 = 22{,}75$ г.

Пусть $\nu(H_2O) = x$; $\nu(HCl) = 2x$. Выразим массы веществ по формуле

$$m = M\nu;\ m(H_2O) = 18x;\ m(HCl) = 2 \cdot 36{,}5x = 71x.$$

Составим уравнение: $18x+71x=22{,}75$; откуда $x=0{,}25$.
По уравнению реакции гидролиза:

$$\nu(\text{соль})=2\nu(H_2O)=2\cdot 0{,}25=0{,}5 \text{ моль}.$$

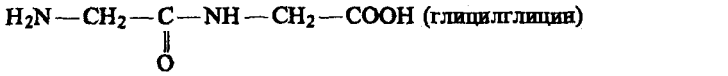
Найдем молярную массу соли:

$$M(\text{соль})=m(\text{соль}):\nu(\text{соль});\ M(\text{соль})=55{,}75:0{,}5=111{,}5 \text{ г/моль}.$$

Чтобы установить строение дипептида, необходимо вычислить молярную массу R:

$$M(R)=M(\text{соль})-M(HCl\cdot H_2N-CH-COOH)=111{,}5-110{,}5=1 \text{ г/моль};$$

следовательно, R — атом водорода, а дипептид имеет строение



Пример 86. При полном гидролизе смеси трех дипептидов образовалась смесь тирозина, глицина, аланина, серина и глутаминовой кислоты. Один из дипептидов может вступить в реакцию солеобразования с 6,36 г насыщенного раствора KOH (растворимость 112 г KOH в 100 г воды) и с 9,83 мл 12,0%-го раствора азотной кислоты (пл. 1,068 г/мл). При обработке этого дипептида избытком гидрокарбоната натрия выделяется 896 мл (н. у.) газа. Установите возможную структуру дипептида и его массу.

Решение. Чтобы установить наличие в дипептиде дополнительных функциональных групп, найдем количества веществ KOH, HNO_3 и $NaHCO_3$, вступающих в реакции с этим дипептидом:

$$\omega(KOH)_{\text{нас}}=s:(100+s);\ \omega(KOH)_{\text{нас}}=112:(100+112)=0{,}5283;$$

$$\nu(KOH)=\omega(KOH)m(KOH,\text{р-р}):M(KOH);$$

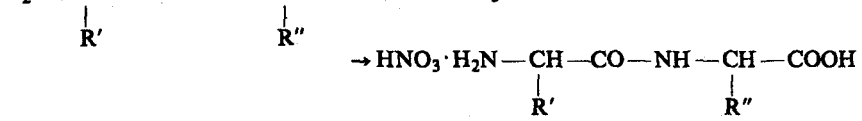
$$\nu(KOH)=0{,}5283\cdot 6{,}36:56=0{,}06 \text{ моль};$$

$$\nu(HNO_3)=V(HNO_3,\text{р-р})\rho(\text{р-р})\omega(HNO_3):M(HNO_3);$$

$$\nu(HNO_3)=9{,}83\cdot 1{,}068\cdot 0{,}12:63=0{,}02 \text{ моль};$$

$$\nu(NaHCO_3)=\nu(CO_2)=V(CO_2):V_m=0{,}896:22{,}4=0{,}04 \text{ моль}.$$

Поскольку в аминокислотах, которые были получены в результате гидролиза, нет таких, которые содержали бы дополнительные функциональные группы с основными свойствами, очевидно, что азотная кислота реагирует только по концевой аминогруппе:



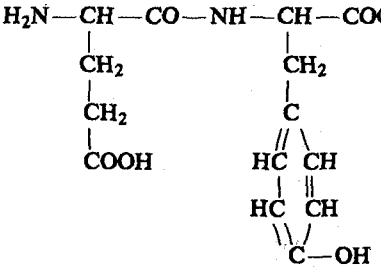
Следовательно, по уравнению реакции $\nu(\text{дипептид})=\nu(HNO_3)=0{,}02$ моль.

Гидрокарбонат натрия реагирует только с карбоксильными группами; поскольку $\nu(NaHCO_3):\nu(\text{дипептид})=0{,}04:0{,}02=2$; ясно, что в молекуле дипептида кроме концевой карбоксильной группы есть еще одна такая группа, что возможно

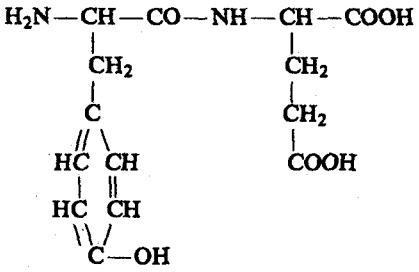
только в том случае, если в молекулу дипептида входит остаток глутаминовой кислоты.

Количество вещества щелочи еще больше, чем количество вещества гидрокарбоната натрия. Щелочи в отличие от гидрокарбонатов могут вступать в реакции и с фенолами. Это означает, что в составе дипептида должен быть остаток тирозина.

Таким образом, дипептид состоит из остатков тирозина и глутаминовой кислоты. Ниже приведены две возможные формулы:



глутамилтирозин



тирозилглутаминовая кислота

Вычислим массу дипептида:

m(дипептид) = M(дипептид) ν(дипептид); m(дипептид) = 310 · 0,02 = 6,20 г.

ВОПРОСЫ, УПРАЖНЕНИЯ И ЗАДАЧИ

3372. Чем отличается действие на белки солей аммония от солей свинца?

3373. Как доказывается наличие в полипептиде остатков а) фенилаланина и тирозина; б) цистеина?

3374. Как доказывается наличие в молекуле пептидных связей?

3375. В чем заключается разница в действии на белок разбавленного и концентрированного растворов этанола?

3376. Перечислите три основных типа взаимодействия между функциональными группами полипептидной цепи, обеспечивающих третичную структуру белка.

3377. Как можно вызвать денатурацию белка? Приведите два примера.

3378. Напишите формулы дипептидов, образованных: а) тирозином и цистеином; б) серином и фенилаланином; в) глицином и цистеином.

3379. Напишите формулы двух дипептидов, каждый из которых образован разными природными ароматическими аминокислотами.

3380. Напишите формулы двух природных дипептидов с 18 атомами углерода и четырьмя атомами кислорода в молекуле.

3381. Напишите формулы двух природных дипептидов с восемью атомами углерода и шестью атомами кислорода в молекуле.

3382. Напишите формулы двух природных дипептидов с восемью атомами углерода и тремя атомами кислорода в молекуле.

3383. Напишите формулы двух природных дипептидов, состоящих из разных аминокислотных остатков и имеющих в молекуле шесть атомов углерода и три атома кислорода.

3384. Напишите формулы природного трипептида, в молекуле которого на четыре атома кислорода приходится три атома серы.

3385. Напишите формулы дипептидов, образованных природными α-аминокислотами, в молекуле которых имеются: а) 15 атомов углерода; б) 14 атомов углерода.

3386. Валин является α-аминокислотой с метилбутановым углеродным скелетом (аминогруппа находится у вторичного атома углерода). Напишите формулу дипептида, образованного остатками этой аминокислоты.

3387. Изолейцин является α-аминокислотой с 3-метилпентановым углеродным скелетом. Напишите формулу дипептида, образованного остатками этой аминокислоты.

3388. Аспарагиновая кислота является ближайшим гомологом глутаминовой кислоты с меньшим числом углеродных атомов. Напишите формулы двух дипептидов, образованных этой аминокислотой.

3389. Орнитин — гомолог лизина, имеющий на два атома водорода меньше. Напишите: а) формулы всех дипептидов, которые может образовать эта α-аминокислота; б) уравнение реакции этерификации с природной гидроксикислотой; в) формулы трех изомеров, не являющихся аминокислотами и относящихся к разным классам соединений.

3390*. Приведите формулу дипептида, состоящего из остатков двух разных аминокислот, каждая из которых способна вступать в реакции, протекающие по механизму S_E.

3391. Два дипептида, образованных остатками природных аминокислот и имеющие состав $C_{11}H_{14}O_3N_2$, при гидролизе образуют смесь одних и тех же солей. Напишите уравнение реакции гидролиза одного из дипептидов, используя структурные формулы. Назовите аминокислоты, входящие в состав дипептида.

3392. В трех пробирках находятся глюкоза, дипептид фенилаланина и тирозина, ацетат кальция. Опишите идентификацию веществ.

3393. В трех пробирках находятся рибоза, дипептид цистеина формиат кальция. Опишите идентификацию веществ.

3394. В трех пробирках находятся три разных дипептида. Один из них образован остатками серина и тирозина, другой — цистеина и лизина, третий — глицина и глутаминовой кислоты. Как с помощью качественных реакций можно узнать, где какой из них находится?

3395. На проведение реакции гидролиза лизилфенилаланина израсходовали 50,0 мл 21,0%-й соляной кислоты (пл. 1,10 г/мл). Вычислите массу подвергнутого гидролизу дипептида.

3396. На проведение реакции гидролиза дипептида, образованного остатками аланина и глутаминовой кислоты, израсходовали 50,0 мл раствора гидроксида калия с концентрацией 2,10 моль/л. Вычислите массу подвергнутого гидролизу дипептида.

3397. На проведение реакции гидролиза серилтирозина израсходовали 50,0 мл раствора гидроксида натрия с массовой концентрацией щелочи 150 г/л. Вычислите массы образовавшихся в ходе гидролиза соединений.

3398. Какая масса гидроксида натрия, находящегося в водном растворе, необходима для проведения гидролиза 10,0 г трипептида, в состав которого входят остатки серина, тирозина и лизина?

3399. При кислотном гидролизе дипептида образовалась смесь хлороводородных солей лизина и фенилаланина общей массой 6,31 г. Вычислите массы веществ, которые образовались бы при проведении гидролиза этого же дипептида той же массы в присутствии избытка гидроксида калия.

3400. При щелочном гидролизе дипептида образовалась смесь натриевых солей глутаминовой кислоты и аланина общей массой 120,8 г. Вычислите массы веществ, которые образовались бы при проведении гидролиза этого же дипептида той же массы разбавленным раствором азотной кислоты.

3401. При гидролизе трипептида образовались хлороводородные соли лизина массой 11,0 г и аланина массой 3,14 г. Приведите все возможные структурные формулы трипептида, вступившего в реакцию.

3402. При гидролизе трипептида образовались натриевые соли глутаминовой кислоты массой 3,82 г и аланина массой 4,44 г. Вычислите массу трипептида, вступившего в реакцию.

3403. При щелочном гидролизе 48 г дипептида образовалось только одно вещество — натриевая соль одной из аминокислот. Масса этой соли равна 66,6 г. Установите строение дипептида.

3404. При действии на дипептид азотной кислотой возникает желтое окрашивание. При гидролизе 3,12 г этого дипептида образовалась только одна аминокислота, масса ее равна 3,3 г. Установите строение дипептида.

3405. При гидролизе 37,8 г трипептида образовалась только одна аминокислота, масса ее равна 45 г. Установите строение трипептида.

3406. При действии на трипептид азотной кислотой возникает желтое окрашивание. При гидролизе 68,85 г этого трипептида образовалась только одна аминокислота, масса ее равна 74,25 г. Установите строение трипептида.

3407. При полном гидролизе смеси трех дипептидов образовалась смесь лизина, аланина, фенилаланина, тирозина и глицина. Один из дипептидов может образовать соль с 65,6 мл 20,0%-го раствора гидроксида натрия (пл. 1,22 г/мл) и с 250 мл раствора хлороводородной кислоты с концентрацией 3,2 моль/л. При сгорании этого дипептида и конденсации паров воды образуется смесь газов с плотностью по воздуху 1,467. Установите возможную структуру дипептида и его массу.

3408. При полном гидролизе смеси трех дипептидов образовалась смесь цистеина, аланина, фенилаланина, серина и глутаминовой кислоты. Один из дипептидов сожгли, образовавшиеся продукты пропустили через 50 мл подкисленного раствора перманганата калия с концентрацией 1,2 моль/л. Для полного обесцвечивания перманганата калия пришлось добавить 8,5 г нитрита калия. Образец этого же дипептида такой же массы сожгли, а продукты сгорания пропустили через избыток известковой воды, при этом образовалось 21 г осадка. Установите возможную структуру дипептида и его массу.

3409. При полном гидролизе смеси трех дипептидов образовалась смесь тирозина, лизина, фенилаланина, серина и глутаминовой кислоты. Один из дипептидов разделили на три равные части. Одну часть обработали избытком гидрокарбоната натрия, при этом выделилось 1,12 л (н. у.) газа. Другая часть полностью вступила в реакцию солеобразования с 20 мл раствора азотной кислоты с концентрацией 2,5 моль/л. При гидролизе третьей части дипептида выяснилось, что масса образовавшихся аминокислот на 0,45 г больше массы дипептида. Установите возможную структуру дипептида и его массу.

3410. При полном гидролизе смеси дипептидов образовалась смесь лизина, цистеина, аланина, серина и глутаминовой кислоты. Один из дипептидов сожгли, а продукты пропустили последовательно через трубку с безводным сульфатом меди и через избыток известковой воды, при этом выделился осадок и остался непоглощенным газ объемом 67,2 мл (н. у.). Осадок обработали избытком соляной кислоты, выделившийся газ смешали с избытком сероводорода и нагрели, при этом образовалось 0,192 г твердого вещества. Установите возможные структуры дипептида

и вычислите, как изменилась масса трубки с безводным сульфатом меди.

3411. При гидролизе смеси трипептидов образовалась смесь лизина, глицина, аланина, фенилаланина и тирозина. При сжигании одного из трипептидов и пропускании продуктов сгорания через избыток известковой воды образовалось 25,2 г осадка и остался непоглощенным газ объемом 1,008 л (н. у.). При гидролизе этого трипептида той же массы масса образующихся аминокислот на 0,648 г больше массы исходного соединения. Установите возможную структуру трипептида и его массу.

3412. К раствору дипептида, образованного двумя аминокислотами, относящимися к гомологическому ряду аминоуксусной кислоты, добавили 50 г 16%-го раствора гидроксида натрия и смесь нагрели. После завершения гидролиза в получившемся растворе молярные концентрации натриевых солей стали равными по 0,2 моль/л, а NaOH — 0,4 моль/л. Масса твердого остатка после выпаривания раствора оказалась равной 15,8 г. Установите возможные структуры дипептида и вычислите его массу, если известно, что массовая доля натрия в одной из солей равна 18,4%.

3413. При гидролизе смеси дипептидов образовалась смесь лизина, глицина, серина, фенилаланина и глутаминовой кислоты. Один из дипептидов может образовать соль с 20 г 28%-го раствора гидроксида калия и с 5 мл раствора хлороводородной кислоты с концентрацией 10 моль/л. Продукты сгорания этого дипептида такой же массы пропустили через трубку с оксидом фосфора (V), плотность газовой смеси на выходе из трубки равна 1,885 г/л (н. у.). Установите возможную структуру дипептида и вычислите, на сколько увеличилась масса трубки с оксидом фосфора.

3414. При гидролизе смеси дипептидов образовалась смесь глицина, серина, аланина, глутаминовой кислоты и фенилаланина. Для солеобразования к одному из дипептидов необходимо добавить 1,48 г гидроксида кальция. Продукты сгорания этого дипептида такой же массы пропустили через склянку с концентрированной серной кислотой, плотность газовой смеси на выходе из склянки оказалась равной плотности пропена. После пропускания смеси через склянку с щелочью остался непоглощенным газ объемом 448 мл (н. у.). Установите возможную структуру дипептида и вычислите, на сколько увеличилась масса склянки с серной кислотой.

3415. При гидролизе четырех изомерных дипептидов в избытке щелочи получили смесь калиевых солей фенилаланина, тирозина, аланина и еще одной аминокислоты. Вычислите область допустимых значений массовой доли калия в этой смеси солей.

3416. При ферментативном гидролизе трипептида образовалось 26,7 г аланина, 21 г серина и смесь двух дипептидов с суммарным количеством вещества 0,5 моль. Полученную смесь продуктов гидролиза обработали соляной кислотой при нагревании, в результате чего получили 87,85 г хлороводородной соли аланина и 56,6 г хлороводородной соли серина. Установите состав двух остальных солей и вычислите их массы.

3417. При ферментативном гидролизе трипептида образовалось 22,5 г глицина, 43,8 г лизина и смесь двух дипептидов с суммарным количеством вещества 0,6 моль. Полученную смесь продуктов гидролиза обработали гидроксидом натрия при нагревании, в результате чего получили 87,3 г натриевой соли глицина и 84 г натриевой соли лизина. Установите состав двух остальных солей и вычислите их массы.

3418. Из смеси серина и аланина получили два изомерных дипептида. Масса смеси оставшихся аминокислот в 2 раза меньше массы синтезированных дипептидов, массовые доли аминокислот в этой смеси равны между собой. Вычислите выход синтеза на сумму дипептидов.

3419. Из смеси цистеина и глицина получили четыре дипептида. Количества веществ дипептидов в этой смеси относятся как 1 : 2 : 4 : 8. Масса оставшегося глицина составила 20% от общей массы смеси синтезированных дипептидов, а масса цистеина — 20% от массы оставшегося глицина. Вычислите максимально возможное значение массовой доли цистеина в исходной смеси аминокислот.

3420. Из смеси тирозина и фенилаланина получили три дипептида с разными молярными массами. Количества веществ дипептидов в смеси оказались одинаковыми. Вычислите выход синтеза дипептида с максимальной молярной массой, если известно, что массы обеих оставшихся аминокислот составили 30% от суммарной массы синтезированных дипептидов.

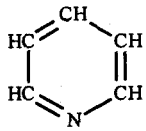
3421. К раствору соли дипептида, образованного фенилаланином и его гомологом, добавили 162 г 40%-го раствора бромоводорода. После завершения гидролиза и выделения солей аминокислот общей массой 114,4 г массовая доля бромоводорода в оставшемся растворе составила 2,835%, а бромида калия — 6,545%. Вычислите молярную массу соли дипептида.

3422. К раствору соли дипептида, образованного аланином и его гомологом, добавили при нагревании 150 г 14,6%-й соляной кислоты. После завершения гидролиза в образовавшемся растворе суммарная масса солей аминокислот составила 49,12 г, а масса хлороводорода оказалась в 2,137 раза меньше массы хлорида натрия. Вычислите относительную молекулярную массу соли дипептида.

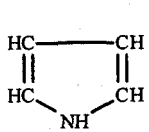
3423. Соль дипептида, образованного серином и его гомологом, нагрели с водным раствором гидроксида калия. После удаления воды получили 123,9 г смеси веществ, в которой массовая доля гидроксида калия составила 9,95%, а нитрата калия — 21,2%. Установите состав и возможное строение (одна структурная формула) аминокислоты, входившей в состав соли дипептида.

3.16. ГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИЕ АЗОТСОДЕРЖАЩИЕ СОЕДИНЕНИЯ. ПОЛИНУКЛЕОТИДЫ

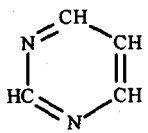
Циклические формы углеводов представляют собой гетероциклические кислородсодержащие соединения. Помимо атомов кислорода, в состав циклов могут вместе с атомами углерода входить атомы азота, серы и других элементов. Наиболее важное значение имеют ***азотсодержащие гетероциклы***:



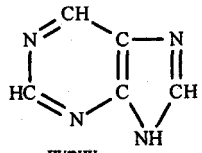
пиридин



пиррол



пиримидин

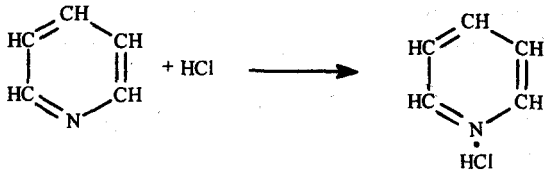


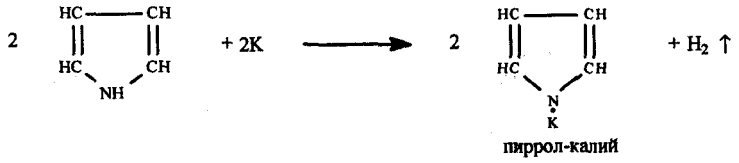
пурин

Цикл *пиррола* — структурный фрагмент гема (в гемоглобине), хлорофилла, витамина B_{12}; цикл *пиридина* — структурный фрагмент витаминов PP и B_6; пиримидин и пурин образуют ДНК и РНК. Разберем кратко свойства пиридина и пиррола.

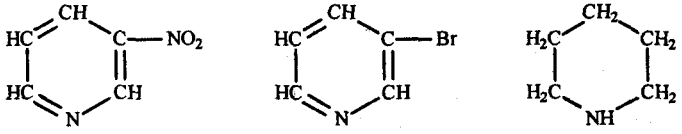
Пиридин и пиррол при обычных условиях бесцветные жидкости, смешивающиеся с большинством органических растворителей в любых соотношениях. Пиридин имеет очень неприятный специфический запах; неограниченно растворим в воде; $t_{пл} = -43$ °C; $t_{кип} = +115$ °C; плотность 0,9819 г/мл. Запах пиррола похож на запах хлороформа. Растворимость пиррола в воде равна 6 г на 100 г воды при 25 °C; $t_{пл} = -23$ °C; $t_{кип} = +130$ °C; плотность 0,9698 г/мл.

Пиридин — слабое основание (слабее, чем аммиак). Он реагирует с разбавленными растворами сильных кислот с образованием солей. Пиррол основными свойствами практически не обладает. С разбавленными сильными кислотами он не реагирует, а в концентрированных растворах кислот происходит раскрытие цикла с дальнейшей полимеризацией. Пиррол — пример ацидофобного вещества («боящегося кислоты»). Он проявляет слабокислотные свойства, реагируя со щелочными металлами. Примеры реакций:



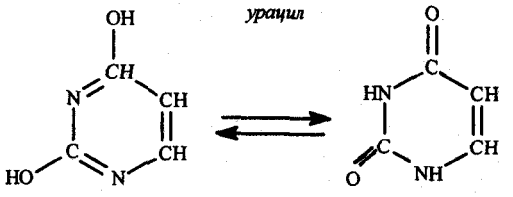


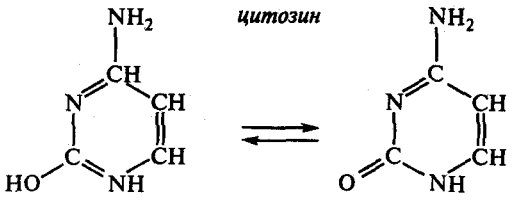
Оба соединения являются ароматическими. Пиридин вступает в реакции электрофильного замещения труднее, чем бензол. При нитровании и бромировании получаются преимущественно изомеры, имеющие заместитель у С-3. При гидрировании пиридина образуется циклический вторичный амин пиперидин:



Пиррол в обычных условиях в реакции замещения не вступает. Однако для пиррола тоже характерны реакции, протекающие по механизму S_E (в данном курсе не рассматриваются).

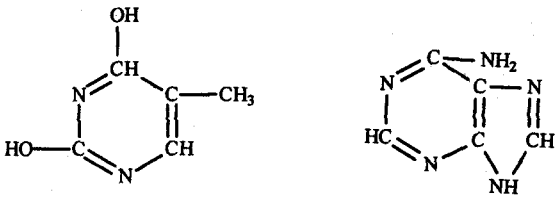
Пиримидин образует нуклеиновые основания цитозин, урацил и тимин. Они могут существовать в форме туатомеров — изомеров, находящихся в динамическом равновесии:





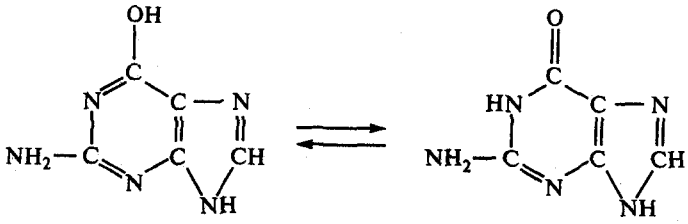
лактимная форма лактамная форма

Тимин отличается от урацила наличием CH_3-группы у С-5. *Пурин* образует нуклеиновые основания аденин и гуанин:



тимин в лактимной форме аденин

Гуанин также существует в виде таутомеров:



лактимная форма лактамная форма

Нуклеиновые основания образуют соединения с углеводами, при этом образуется N-гликозидная связь. Такие соединения называют ***нуклеозидами***. Если спиртовая группа углевода в составе нуклеозида этерифицирована фосфорной кислотой, говорят о ***нуклеотиде***. РНК и ДНК — вещества, ответственные за передачу генетической информации от поколения к поколению. По химической природе они представляют собой полинуклеотиды. В состав РНК входят нуклеиновые основания — урацил, цитозин, аденин и гуанин, которые образуют N-гликозидную связь с β-рибозой. В состав ДНК входят нуклеиновые основания — ти-

мин, цитозин, аденин и гуанин, которые образуют N-гликозидную связь с β-дезоксирибозой. Полинуклеотидные звенья соединяются за счет образования двойных сложных эфиров фосфорной кислоты по С-3 одного остатка пентозы и С-5 другого.

ДНК и РНК подвергаются гидролизу.

Пример 87. При сжигании образца азотсодержащего гетероциклического соединения, не содержащего заместителей в кольце, образовалось 0,75 моль углекислого газа, 0,375 моль воды и 0,075 моль азота. Установите структуру этого соединения.

Решение. Запишем уравнение реакции горения азотсодержащего гетероциклического соединения в общем виде:

$$C_xH_yN_z + (x+0{,}25y)O_2 \rightarrow xCO_2 + 0{,}5yH_2O + 0{,}5zN_2$$

Вычислим количества веществ атомов, входящих в состав искомого соединения:

$$\nu(C) = \nu(CO_2) = 0{,}75 \text{ моль}; \ \nu(H) = 2\nu(H_2O) = 2 \cdot 0{,}375 = 0{,}75 \text{ моль};$$

$$\nu(N) = 2\nu(N_2) = 0{,}075 \cdot 2 = 0{,}15 \text{ моль}.$$

Найдем соотношение чисел атомов углерода, водорода и азота в молекуле, которое соответствует соотношению количеств веществ:

$\nu(C) : \nu(N) : \nu(H) = 0{,}75 : 0{,}15 : 0{,}75$; $\nu(C) : \nu(N) : \nu(H) = 5 : 1 : 5$, т. е. искомое соединение — пиридин.

Пример 88. *Образец гомолога аминопиридина массой 2,72 г поместили в стальной сосуд объемом 6,00 л, затем туда ввели 5,824 л кислорода (н. у.). После полного сгорания вещества давление в сосуде составило 246,8 кПа при температуре 251 °С. Установите возможные структуры анализируемого вещества (приведите формулы четырех изомеров).*

Решение. Вычислим количество вещества кислорода, введенного в сосуд:

$$\nu(O_2)_{доб} = V(O_2) : V_m; \ \nu(O_2)_{доб} = 5{,}824 : 22{,}4 = 0{,}26 \text{ моль}.$$

Воспользовавшись уравнением Менделеева — Клапейрона, рассчитаем суммарное количество вещества газов после завершения реакции:

$$\nu(\text{газы})_{сумм} = \frac{pV}{RT}; \ \nu(\text{газы})_{сумм} = \frac{246{,}8 \cdot 6}{8{,}31 \cdot 524} = 0{,}34 \text{ моль}.$$

Молекулярная формула членов гомологического ряда аминопиридина имеет вид: $C_nH_{2n-4}N_2$; $M(C_nH_{2n-4}N_2) = 14n + 24$. Запишем уравнение реакции горения в общем виде:

$$C_nH_{2n-4}N_2 + (1{,}5n-1)O_2 \rightarrow nCO_2 + (n-2)H_2O + N_2$$

Обозначим в дальнейших формулах $C_nH_{2n-4}N_2$ как X и установим стехиометрические соотношения по уравнению реакции:

$$\nu(O_2)_{вст} = (1{,}5n-1)\,\nu(X);$$

$$\nu(CO_2) = n\nu(X); \ \nu(H_2O) = (n-2)\,\nu(X); \ \nu(N_2) = \nu(X).$$

Составим уравнение материального баланса:

$$\nu(O_2)_{доб} - \nu(O_2)_{вст} + \nu(CO_2) + \nu(H_2O) + \nu(N_2) = \nu(газы)_{сумм};$$

$$0{,}26 - (1{,}5n - 1)\nu(X) + n\nu(X) + (n-2)\nu(X) + \nu(X) = 0{,}34,$$

после упрощения получаем: $0{,}5n\nu(X) = 0{,}08$.

Выразим количество вещества гомолога аминопиридина:

$$\nu(X) = m(X) : M(X);\ \nu(X) = 2{,}72 : (14n + 24).$$

Составим уравнение:

$$0{,}5n \frac{2{,}72}{14n + 24} = 0{,}08;\ \text{откуда}\ n = 8.$$

Таким образом, в молекуле искомого соединения содержится 8 атомов углерода. Возможные структуры: пропил-; изопропил-, тетраметил- и метилэтиламинопиридины.

ВОПРОСЫ, УПРАЖНЕНИЯ И ЗАДАЧИ

3424. Приведите примеры пяти- и шестичленных гетероциклов. Приведите примеры конденсированных и неконденсированных гетероциклов.

3425. Не приводя уравнения реакций, покажите, в чем заключается сходство и различие в химических свойствах пиридина и пиррола.

3426. Приведите пример гетероциклического основания, входящего в состав нуклеиновых кислот, не содержащего в составе аминогруппы.

3427. Приведите пример гетероциклического основания, входящего в состав нуклеиновых кислот, имеющего в составе: а) три атома азота; б) два атома кислорода.

3428. Какой тип химической связи устанавливается между комплементарными нуклеиновыми основаниями?

3429. Что является мономерным звеном РНК?

3430. Приведите формулы двух изомеров, один из которых содержит пиридиновый цикл, а другой — пиррольный цикл.

3431. Напишите формулу любого метилпиридина и приведите для него формулу изомера, имеющего в своем составе пиррольный гетероцикл.

3432. Приведите для анилина формулу изомера, имеющего в своем составе пиридиновый гетероцикл.

3433. Напишите формулу любого этилпиридина и приведите для него формулу изомера, относящегося к вторичным аминам.

3434. Напишите формулу любого диметилпиридина и приведите для него формулу изомера, относящегося к первичным аминам.

3435. Напишите формулу любого тетраметилпиррола и приведите для него формулу изомера, относящегося к третичным аминам.

3436. Приведите формулу любого соединения, содержащего в молекуле пиридиновый гетероцикл и существующего в форме *цис-* и *транс*-изомера.

3437. Приведите формулу любого соединения, содержащего в молекуле тетраметилпиррольный фрагмент и существующего в форме *цис-* и *транс*-изомера.

3438. Напишите формулы всех веществ, содержащих только пиридиновое кольцо и: а) два разных неразветвленных радикала C_4H_9; б) два разных разветвленных радикала C_4H_9; в) фенильный и винильный радикалы; г) радикал C_3H_7; д) два метильных радикала; е) три одинаковых по строению радикала; ж) неразветвленный радикал состава C_5H_{11}; з) аминогруппу; и) аминогруппу и нитрогруппу.

3439. Напишите формулы всех соединений, имеющих в своем составе только пиррольное кольцо и: а) два фенильных радикала; б) три метильных радикала; в) радикал C_3H_7; г) неразветвленный радикал C_4H_9; д) неразветвленный радикал состава C_5H_{11}.

3440. Напишите формулы всех N-замещенных гомологов пиррола, имеющих в структуре только: а) метильный и *н*-пропильный радикалы; б) два разных неразветвленных радикала состава C_4H_9.

3441. Напишите формулы всех гомологов пиррола (кроме N-замещенных), имеющих в структуре только: а) метильный и этильный радикалы; б) два разных разветвленных радикала состава C_4H_9.

3442. Напишите формулы всех веществ, содержащих только пиримидиновое кольцо и: а) один метильный и один фенильный радикалы; б) два разных радикала C_3H_7; в) фенильный радикал; г) два метильных радикала; д) неразветвленный радикал состава C_4H_9; е) неразветвленный радикал состава C_5H_{11}.

3443. Приведите молекулярную формулу ($C_nH_{2n-x}N_y$), общую для соединений, имеющих в пиридиновом кольце один или несколько насыщенных углеводородных радикалов и один винильный радикал. Приведите с использованием этой формулы уравнение реакции гидратации членов гомологического ряда.

3444. Напишите формулы всех соединений, имеющих в своем составе только пуриновую систему гетероциклов и: а) фенильный радикал; б) изопропильный радикал; в) два метильных радикала.

3445. Напишите формулы всех N-замещенных пуринов, содержащих только фенильный и этильный радикалы.

3446. Приведите молекулярную формулу ($C_nH_{2n-x}N_y$), общую для соединений, имеющих в пиррольном кольце один или несколько насыщенных углеводородных радикалов и один фенильный радикал. Приведите с использованием этой формулы уравнение реакции гидрирования, протекающего без разрыва связей С—С.

3447. Приведите молекулярную формулу ($C_nH_{2n-x}N_y$), общую для соединений, имеющих в пиррольном кольце один или несколько насыщенных углеводородных радикалов и одну аминогруппу. Приведите с использованием предложенной формулы уравнение реакции с хлороводородом членов этого гомологического ряда.

3448. Приведите молекулярную формулу ($C_nH_{2n-x}N_y$), общую для соединений, имеющих насыщенные углеводородные радикалы в пиримидиновом кольце, и одну из возможных структурных формул соединения этого гомологического ряда с $n=8$.

3449. Приведите молекулярную формулу ($C_nH_{2n-x}N_y$), общую для соединений, имеющих в пуриновой системе гетероциклов насыщенные углеводородные радикалы. Приведите с использованием выведенной формулы уравнение реакции горения членов этого гомологического ряда.

3450*. Приведите структурные формулы двух производных пиримидина, имеющих по одной гидроксильной и метильной группе и способных к лактим-лактамной таутомерии.

3451*. Приведите структурные формулы двух производных пурина, имеющих по одной гидроксильной и метильной группе и способных к лактим-лактамной таутомерии.

3452. В четырех пробирках находятся натриевая соль цистеина, калиевая соль фенилаланина, хлорид бария и хлороводородная соль пиридина. Как можно с помощью химических реакций распознать, где какое вещество находится?

3453*. Приведите формулу нуклеозида, образованного β-арабинозой и пурином.

3454*. Приведите формулу рибонуклеозида, в состав которого входит одно из главных нуклеиновых оснований, а число атомов азота равно числу атомов кислорода.

3455*. Какой из четырех основных дезоксирибонуклеозидов имеет максимальное число атомов кислорода в молекуле? Приведите его формулу.

3456*. Какой из четырех основных дезоксирибонуклеотидов имеет минимальное число атомов кислорода в молекуле? Приведите его формулу.

3457*. Приведите формулы двух разных дезоксирибонуклеозидов, имеющих в составе разные пуриновые основания.

3458*. Приведите формулы двух разных рибонуклеотидов, имеющих в составе разные пиримидиновые основания.

3459. На одном из участков ДНК имеется последовательность нуклеотидных остатков —А—Т—. Приведите структурную формулу строения участка второй спирали ДНК, комплементарного указанному участку.

3460. К порции цитозина добавили гомолог пиридина, при этом число атомов азота увеличилось в 2 раза, а число атомов углерода — в 7 раз. Вычислите массовую долю гомолога пиридина в полученной смеси. Приведите структурные формулы всех изомерных гомологов пиридина, отвечающих условию задачи и имеющих в молекуле только 2 третичных атома углерода.

3461. К порции тимина добавили гомолог нитробензола, при этом число атомов кислорода увеличилось в 3 раза, а число атомов водорода — в 4 раза. Вычислите массовую долю гомолога нитробензола в полученной смеси. Приведите структурные формулы всех изомерных гомологов нитробензола, отвечающих условию задачи и имеющих в молекуле по 2 третичных атома углерода.

3462. К порции аденина добавили гомолог пиримидина, при этом число атомов азота увеличилось в 3 раза, а число атомов углерода — в 7 раз. Вычислите массовую долю гомолога пиридина в полученной смеси. Приведите структурные формулы всех изомерных гомологов пиримидина, отвечающих условию задачи и имеющих в молекуле по 3 первичных атома углерода.

3463. Смешали 100 г 5,00%-го водного раствора пиррола и 50 г 10,0%-го раствора пиридина в этаноле. Вычислите массовые доли веществ в полученном растворе.

3464. Смешали равные объемы растворов пиридина, сульфата пиридина и гидросульфата пиридина, концентрация каждого раствора 0,1 моль/л. Вычислите молярную концентрацию соли пиридина в полученном растворе.

3465. Смешали равные массы 10,0%-х растворов сульфата пиридина, гидросульфата пиридина и серной кислоты. Вычислите массовые доли веществ в полученном растворе.

3466. В одном растворе массовые доли пиридина и его хлороводородной соли равны соответственно 5 и 10%, во втором растворе массовые доли хлороводорода и хлороводородной соли пиридина равны соответственно 15 и 10%. Вычислите массовые доли веществ в растворе, полученном смешением первого и второго растворов в соотношении по массе 2 : 1.

3467. Через 150 г водного раствора, в котором массовые доли пиридина и диметиламина равны по 5,00%, пропустили 4,48 л (н. у.) бромоводорода. Вычислите массы солей, которые можно выделить из полученного раствора.

3468. Какой объем (н. у.) смеси хлороводорода и азота, имеющей плотность по воздуху, равную 1,00, нужно пропустить

через 50 г 10,0%-го раствора пиридина, чтобы массовые доли пиридина и его соли стали равны?

3469. Смесь триметиламина и пиридина обработали большим избытком серной кислоты. Суммарная масса выделенных солей, полученных в результате реакции, оказалась в 2,324 раза больше массы исходной смеси. Вычислите массовую долю серы в полученной смеси солей.

3470. Какую массу олеума, в котором количества веществ оксида и кислоты равны между собой, необходимо добавить к 100 г 23,7%-го водного раствора пиридина для полного его перевода в гидросульфат?

3471. Какую массу 20,0%-го олеума нужно добавить к 150 г 25,0%-го раствора пиридина, чтобы молярные концентрации сульфата пиридина и гидросульфата пиридина сравнялись?

3472. Смесь анилина, фенола и пиридина может прореагировать нацело: а) с 0,09 моль брома (в тетрахлориде углерода); б) с 0,04 моль бромоводорода; в) с 0,02 моль гидроксида калия. Вычислите массовые доли веществ в исходной смеси.

3473. Смесь глицина, пиридина и этанола может прореагировать нацело: а) с 0,245 моль сухого хлороводорода; б) с 0,015 моль гидроксида калия. При сгорании этой смеси образуется 0,0225 моль азота. Вычислите массовые доли веществ в исходной смеси.

3474. Смесь пиридина, пиррола и бензола может максимально присоединить 0,15 моль водорода (без разрыва циклов). До гидрирования смесь могла нацело прореагировать с 0,02 моль хлороводорода, а после гидрирования — с 0,05 моль. Вычислите массовые доли веществ в исходной смеси.

3475. Смесь стирола, пиридина и фенола может прореагировать нацело: а) с 0,14 моль брома в отсутствие катализатора; б) с 0,06 моль бромоводорода. При обработке смеси натрием выделяется 0,02 моль водорода. Вычислите массовые доли веществ в исходной смеси.

3476. Смесь глутаминовой кислоты, муравьиной кислоты и пиридина может нацело прореагировать: а) с 0,6 моль хлороводорода; б) с 1,3 моль гидроксида калия. При обработке смеси аммиачным раствором оксида серебра выделяется 1 моль серебра. Вычислите массовые доли веществ в исходной смеси.

3477. Смесь пропанола-1, пиридина и уксусной кислоты может прореагировать с 0,2 моль гидроксида натрия, а после окисления перманганатом калия в кислой среде вступить в реакцию этерификации с 0,35 моль бензилового спирта. После пропускания продуктов сгорания исходной смеси через избыток известковой воды образовалось 2,1 моль карбоната кальция. Вычислите массовые доли веществ в исходной смеси.

3478. Смесь лизина, пиррола и диэтиламина может нацело прореагировать: а) с 0,4 моль хлороводорода; б) с 0,05 моль гидроксида бария. При обработке смеси избытком калия выделяется 0,15 моль водорода. Вычислите массовые доли веществ в исходной смеси.

3479. При обработке 55,5 г смеси хлорбензола, пиридина и анилина избытком хлороводорода была выделена смесь двух солей общей массой 47,6 г. При обработке избытком бромной воды такой же смеси, но вдвое меньшей массы, образовалось 16,5 г белого осадка. Вычислите массовую долю хлорбензола в исходной смеси.

3480. Порции пиррола и цистеина сожгли в избытке кислорода, а продукты сгорания пропустили через избыток известковой воды. Объем непоглощенного газа в том и другом случае оказался одинаковым (при одинаковых условиях). Вычислите, во сколько раз будут различаться массы осадков.

3481. Порции пиридина и цистеина сожгли в избытке кислорода, а продукты сгорания пропустили через избыток известковой воды. Массы образовавшихся осадков в том и другом случае оказались равными. Вычислите, во сколько раз будут различаться объемы непоглощенного газа.

3482. Смесь двух изомеров, один из которых является алкилпиридином, а другой — *м*-алкиланилином, может вступить в реакцию с 0,25 моль хлороводорода или с 0,15 моль брома (в водном растворе). Вычислите массовые доли веществ в исходной смеси.

3483. Какой объем кислорода (н. у.) требуется для полного сгорания 10 г смеси 5-аминопиримидина и 2-метилпиридина, в которой массовая доля азота равна 25%?

3484. Какой объем воздуха (20 °С, 100 кПа) требуется для полного сгорания смеси тимина и гуанина, в которой суммарное количество вещества равно 0,05 моль, а массовая доля кислорода равна 20%?

3485. При сжигании смеси двух гомологов пиридина образуется 806,4 мл (н. у.) углекислого газа и 423 мг воды. Вычислите объем азота (29 °С, 90 кПа), образовавшегося при сжигании.

3486. При сжигании образца азотсодержащего гетероциклического соединения, не содержащего заместителей в кольце, образовалось 280 мл углекислого газа, 140 мл паров воды и 70 мл азота (объемы измерялись при одинаковых условиях). Установите возможную структуру этого соединения.

3487. При сжигании образца азотсодержащего гетероциклического соединения, не содержащего заместителей в кольце, образовалось 240 мл углекислого газа, 150 мл паров воды и 30 мл

азота (объемы измерялись при одинаковых условиях). Установите возможную структуру этого соединения.

3488. При сжигании образца одного из нуклеиновых оснований количество вещества образовавшегося азота оказалось равным количеству вещества воды, а масса углекислого газа превысила суммарную массу азота и воды в 1,913 раза. Установите возможное строение нуклеинового основания (приведите две формулы).

3489. При сжигании образца азотсодержащего гетероциклического соединения, не содержащего заместителей в кольце, образовалось 1,2 л углекислого газа, 0,8 л паров воды и 0,4 л азота (объемы измерялись при одинаковых условиях). Установите возможную структуру этого соединения.

3490. При сжигании образца азотсодержащего гетероциклического соединения, имеющего один углеводородный радикал в кольце, образовалось 0,18 моль углекислого газа, 0,105 моль воды и 0,015 моль азота. Установите возможную структуру этого соединения.

3491. Гомолог пиримидина, имеющий два заместителя в кольце, сожгли. Масса кислорода, израсходованного в реакции, в 2,49 раза больше массы исходного соединения. Установите состав этого соединения и предложите возможную структуру (две-три формулы).

3492. Образец гомолога пиридина массой 1,21 г поместили в стальной сосуд объемом 5 л, затем туда ввели 2,688 л кислорода (н. у.). После полного сгорания вещества давление в сосуде составило 120 кПа при температуре 200 °С. Установите возможные структуры анализируемого вещества (приведите формулы четырех изомеров).

3493. Образец гомолога пурина массой 2,01 г поместили в стальной сосуд объемом 4,5 л, затем туда ввели 3,024 л кислорода (н. у.). После полного сгорания вещества давление в сосуде составило 198,4 кПа при температуре 300 °С. Установите возможные структуры анализируемого вещества (приведите формулы четырех изомеров).

3494. Образец гомолога пиримидина массой 0,915 г поместили в стальной сосуд объемом 2,1 л, затем туда ввели 2,016 л кислорода (н. у.). После полного сгорания вещества давление в сосуде составило 225,4 кПа при температуре 217 °С. Установите возможные структуры анализируемого вещества (приведите формулы четырех изомеров).

3495. Образец гомолога нитропиридина массой 2,28 г поместили в стальной сосуд объемом 4,00 л, затем туда ввели 3,36 л кислорода (н. у.). После полного сгорания вещества давление в сосуде составило 238,2 кПа при температуре 273 °С. Установите

возможные структуры анализируемого вещества (приведите формулы четырех изомеров).

3496. Образец гомолога пиррола массой 0,95 г поместили в стальной сосуд объемом 4,20 л, затем туда ввели 2,24 л кислорода (н. у.). После полного сгорания вещества давление в сосуде составило 145,3 кПа при температуре 303 °С. Установите возможные структуры анализируемого вещества (приведите формулы четырех изомеров).

3497. Образец гомолога нитропиримидина массой 6,12 г поместили в стальной сосуд объемом 9,255 л, затем туда ввели 6,272 л кислорода (н. у.). После полного сгорания вещества давление в сосуде составило 200 кПа при температуре 222 °С. Установите возможные структуры анализируемого вещества (приведите формулы четырех изомеров).

3498. Образец гомолога аденина массой 2,98 г поместили в стальной сосуд объемом 3,51 л, затем туда ввели 4,032 л кислорода (н. у.). После полного сгорания вещества давление в сосуде составило 409,7 кПа при температуре 380 °С. Установите возможные структуры анализируемого вещества (приведите формулы четырех изомеров).

3499. Образец гомолога нитропиррола массой 0,770 г поместили в стальной сосуд объемом 2,5 л, затем туда ввели 1,12 л кислорода (н. у.). После полного сгорания вещества давление в сосуде составило 150,1 кПа при температуре 350 °С. Установите возможные структуры анализируемого вещества (приведите формулы четырех изомеров).

3500. Образец гомолога пирролидина массой 1,276 г поместили в стальной сосуд объемом 6,0 л, затем туда ввели 2,856 л кислорода (н. у.). После полного сгорания вещества давление в сосуде составило 164,3 кПа при температуре 400 °С. Установите возможные структуры анализируемого вещества (приведите формулы трех изомеров).

3501. Образец гомолога аминопиримидина массой 2,725 г поместили в стальной сосуд объемом 5,20 л, затем туда ввели 5,60 л кислорода (н. у.). После полного сгорания вещества давление в сосуде составило 243,5 кПа при температуре 187 °С. Установите возможные структуры анализируемого вещества (приведите формулы четырех изомеров).

3502. Смесь двух соседних гомологов пиридина с молярным соотношением низшего и высшего 2 : 1 имеет плотность паров по гелию 24,417. Один объем паров смеси веществ смешали с 30 объемами водорода и пропустили над никелевым катализатором, получив на выходе газовую смесь с плотностью по водороду 2,78. Вычислите общий выход гомологов пиперидина (считать,

что реакции идут с одной скоростью, ароматическое кольцо гидрируется полностью, разрыва кольца не происходит).

3503. Установите строение дезоксирибонуклеотида, если известно, что массовая доля азота в нуклеиновом основании в 4,375 раза больше массовой доли кислорода.

3504. При гидролизе гуанозинфосфата в присутствии избытка гидроксида бария было получено 30,05 г осадка. Какую массу углевода можно получить при кислотном гидролизе второго продукта реакции?

3505. Пиримидиновое основание и углевод, полученные при гидролизе нуклеозида, сожгли раздельно в избытке кислорода. Продукты сгорания углевода пропустили через трубку с оксидом фосфора (V), ее масса при этом увеличилась на 3,60 г. Продукты сгорания нуклеинового основания пропустили через раствор щелочи, при этом образовалось 20,7 г карбоната калия и 5,00 г гидрокарбоната калия. Установите строение нуклеозида.

3506. Углевод и нуклеиновое основание, полученные при гидролизе нуклеозида, сожгли раздельно в избытке кислорода. В каждом случае продукты сгорания пропустили через избыток известковой воды. Масса осадка в первом случае составила 12,5 г и оказалась больше массы осадка, полученной во втором случае. Объем непоглощенного газа во втором случае равен 0,56 л (н. у.). Установите строение нуклеозида.

3507. В некоторой порции рибонуклеотида содержится 2,17 г фосфора и 2,94 г азота. Какую массу нуклеозида можно получить при гидролизе этого нуклеотида?

3508. Смесь *п*-крезола и пиридина обработали избытком бромной воды, в результате чего масса брома уменьшилась на 85%. В полученной смеси веществ масса брома оказалась равной массе бромоводорода. Вычислите массовую долю пиридина в исходной смеси.

3509. Смесь *м*-крезола и метилпиридина обработали избытком бромной воды, в результате чего масса брома уменьшилась на 81%. В полученной смеси веществ количество вещества брома оказалось равным количеству вещества бромоводорода. Вычислите массовую долю *м*-крезола в исходной смеси.

3510. Смесь *о*-крезола и одного из гомологов пиридина, в которой масса азота на 16,67% больше массы кислорода, обработали избытком бромной воды, в результате чего масса брома уменьшилась на 75%. В полученной смеси веществ масса бромоводорода оказалась равной 1 г. Вычислите массу брома, содержащегося в добавленной порции бромной воды.

3.17. КОМБИНИРОВАННЫЕ УПРАЖНЕНИЯ И ЗАДАЧИ ПО ХИМИИ АЗОТСОДЕРЖАЩИХ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

3511. Приведите формулу гомолога урацила, а также изомера этого гомолога, не являющегося ни гетероциклическим, ни ароматическим соединением.

3512. Приведите структурные формулы двух соединений, имеющих общую формулу $C_nH_{2n+3}O_2N$, но различающихся числом n.

3513. Приведите структурные формулы соединений состава: а) $C_nH_{2n-1}O_9N_3$; б) $C_nH_{2n}O_6N_2$ с минимально возможным числом n.

3514. Приведите структурные формулы двух соединений состава $C_6H_{14}NI$, одно из которых является солью, а другое — нет.

3515. Приведите структурные формулы двух соединений состава $C_8H_{12}NCl$, одно из которых является солью, а другое — нет.

3516. Приведите структурные формулы двух соединений состава $C_4H_{11}O_2N$, одно из которых является солью, а другое — нет.

3517. Приведите структурные формулы двух соединений состава $C_5H_{12}N_2Cl_2$, одно из которых является солью, а другое — нет.

3518*. Приведите какое-либо вещество, способное с некоторыми из перечисленных ниже веществ вступать в реакции, протекающие по механизму S_E (две реакции): бром, гидроксид калия, азотная кислота, уксусная кислота, метиламин.

3519. Два азотсодержащих органических соединения имеют одинаковое число атомов углерода в молекуле; в молекуле одного из них есть также атомы кислорода. Одно из этих веществ реагирует с цинком в сильнощелочном растворе и не вступает в реакции с бромной водой и хлороводородом. Другое вещество, наоборот, не вступает в реакцию с цинком в сильнощелочном растворе, но реагирует и с бромной водой, и с хлороводородом. Предложите возможные структуры веществ и напишите уравнения реакций.

3520. Два азотсодержащих органических соединения имеют одинаковое число атомов углерода в молекуле; в молекуле одного из них есть также атомы кислорода. Оба вещества реагируют с хлороводородом и не реагируют с водородом. Только одно из веществ реагирует с гидроксидом натрия. Предложите возможные структуры веществ и напишите уравнения реакций.

3521. Два азотсодержащих органических соединения, различающиеся по составу только на одну гомологическую разность,

реагируют и с хлороводородом, и с водородом (на никелевом катализаторе). Только одно из веществ реагирует с бромной водой. Предложите возможные структуры веществ и напишите уравнения реакций.

3522. Два органических соединения, имеющие в молекулах помимо атомов углерода и водорода также атомы кислорода и азота, реагируют с гидроксидом натрия в водном растворе, но не вступают в реакцию с бромной водой. Только одно из веществ реагирует с натрием. Предложите возможные структуры веществ, если известно, что число атомов углерода в их молекулах одинаково, а число атомов азота — нет. Напишите уравнения реакций.

3523. Два органических соединения, различающиеся по составу только на один атом углерода, реагируют с бромоводородом. Только одно из них реагирует с бромной водой. При горении обоих веществ образуется, кроме воды и углекислого газа, азот. Предложите возможные структуры веществ и напишите уравнения реакций.

3524. Приведите структурные формулы двух изомеров состава $C_3H_8N_2O_2$, один из которых способен к реакции восстановления с сульфидом аммония, а другой реагирует с гидрокарбонатом натрия с выделением углекислого газа. Приведите уравнения реакций.

3525. Составьте уравнения реакций (с использованием структурных формул) по схеме: A → B → C → D. Буквами обозначены вещества, имеющие состав C_7H_8; $C_7H_7O_2N$; $C_7H_5O_4N$; C_7H_{14}.

3526. Составьте уравнения реакций (с использованием структурных формул) по схеме: A → B → C → D. Буквами обозначены вещества, имеющие состав $C_2H_7O_2N$; $C_5H_{11}O_2N$; C_2H_6O; $C_2H_4O_2$.

3527. Составьте уравнения реакций (с использованием структурных формул) по схеме: A → B → C → D. Буквами обозначены вещества, имеющие состав $C_3H_7O_2N$; $C_3H_6O_2$; $C_3H_5O_2Cl$; $C_{12}H_{20}O_6$.

3528. Составьте уравнения реакций (с использованием структурных формул) по схеме: A → B → C → D. Буквами обозначены вещества, имеющие состав $C_4H_8O_2$; $C_4H_7O_2Cl$; $C_4H_9O_2N$; $C_6H_{12}O_6$.

3529. Составьте уравнения реакций (с использованием структурных формул) по схеме: A → B → C → D. Буквами обозначены вещества, имеющие состав $C_3H_7O_2N$; $C_3H_8O_2NCl$; $C_3H_6O_2$; $C_3H_5O_2Cl$.

3530. Соединение A, получаемое окислением углеводорода с тем же числом атомов углерода, растворяется в растворе аммиака с образованием соли состава $C_7H_9NO_2$. В реакции с пропанолом-2 соединение A превращается в соединение состава $C_{10}H_{12}O_2$. Напишите уравнения реакций.

3531. Приведите структурные формулы двух изомеров состава $C_6H_6N_2O_2$, способных к реакции с бромной водой, в ходе которой образуется соединение состава $C_6H_4N_2O_2Br_2$. Приведите уравнения реакций.

3532. Приведите структурную формулу соединения состава C_6H_7NO. В реакции с бромной водой из этого соединения образуется вещество состава $C_6H_4NOBr_3$, с водным раствором щелочи — C_6H_6NONa, с соляной кислотой — C_6H_8NOCl. Приведите уравнения реакций.

3533. Вещество А состава $C_3H_9NO_6S$ реагирует с раствором хлорида бария, при этом образуются три вещества: нерастворимое в воде; растворимое, имеющее состав $C_3H_8NO_2Cl$, и хлороводород. В реакции с водным раствором гидроксида калия вещество А образует соединение состава $C_3H_6NO_2K$. Приведите две возможные структурные формулы соединения А и уравнения реакций.

3534. Вещество А состава $C_3H_7NO_2S$ в реакции с раствором серной кислоты в зависимости от соотношения реагентов образует два растворимых вещества: одно состава $C_3H_9NO_6S_2$, а другое состава $C_6H_{16}N_2O_8S_3$. В реакции с гидроксидом кальция образуется вещество состава $C_6H_{12}N_2O_4S_2Ca$. Приведите две возможные структуры соединения А и уравнения реакций.

3535. При нагревании соединения А состава $C_8H_{17}N_3O_3$ с избытком раствора серной кислоты образовались два соединения, одно из которых имеет состав $C_6H_{18}N_2O_{10}S_2$. При обработке вещества А раствором карбоната натрия образуется вещество $C_8H_{16}N_3O_3Na$. Установите возможную структуру соединения А и напишите уравнения реакций.

3536. Природное вещество А состава $C_6H_{12}N_2O_4S$ при обработке избытком разбавленного раствора серной кислоты образует без нагревания вещество состава $C_6H_{14}N_2O_8S_2$, а при нагревании два вещества: $C_3H_9NO_6S_2$ и $C_3H_9NO_7S$. При обработке вещества А карбонатом калия выделяется газ. Установите две возможные структуры вещества А и напишите уравнения реакций.

3537. При нагревании соединения А состава $C_7H_{12}N_2O_5$ с избытком раствора гидроксида калия образовалось соединение $C_5H_7NO_4K_2$. При обработке вещества А разбавленным раствором азотной кислоты (без нагревания) образуется вещество $C_7H_{13}N_3O_8$. Установите возможную структуру соединения А и напишите уравнения реакций.

3538. Из любого соединения состава $C_5H_9O_2N$, не используя других углеродсодержащих соединений, получите глицин. Напишите уравнения реакций.

3539. Из соединения состава $C_5H_{11}NO_2$, не используя других углеродсодержащих соединений, получите гомолог. Напишите уравнения реакций.

3540. Из этаналя, не используя других углеродсодержащих соединений, получите любое соединение состава $C_4H_9O_2N$. Напишите уравнения реакций.

3541. Из одного из изомеров иодпропана, не используя других углеродсодержащих соединений, получите соединение состава $C_3H_7O_2N$, имеющего в молекуле аминогруппу. Напишите уравнения реакций.

3542. Из глюкозы, не используя других углеродсодержащих соединений, получите две соли, в состав каждой из которых входят атомы только пяти элементов-неметаллов. Напишите уравнения реакций.

3543. Среди изомеров состава $C_4H_7O_2Cl$ выберите такой, из которого, не используя других углеродсодержащих соединений, можно получить соединение состава $C_4H_{10}NO_2Cl$. Напишите уравнения реакций.

3544. Среди изомеров состава $C_3H_5O_2Cl$ выберите такой, из которого, не используя других углеродсодержащих соединений, можно получить соединение состава $C_3H_8NO_2Cl$. Напишите уравнения реакций.

3545. Среди изомеров состава $C_2H_3O_2Cl$ выберите такой, из которого, не используя других углеродсодержащих соединений, можно получить соединение состава $C_4H_8N_2O_4Ca$. Напишите уравнения реакций.

3546. Среди соединений состава $C_3H_5O_2Cl$ выберите такое, из которого, не используя других углеродсодержащих соединений, можно получить соединение состава $C_3H_9NO_6S$. Напишите уравнения реакций.

3547. Среди изомеров состава $C_2H_3O_2Cl$ выберите такой, из которого, не используя других углеродсодержащих соединений, можно получить соединение состава $C_2H_6N_2O_5$. Напишите уравнения реакций.

3548. Из соединения, имеющего состав $C_3H_4O_2$, не используя других углеродсодержащих соединений, в две стадии получите один из изомеров состава $C_3H_7O_2N$. Напишите уравнения реакций.

3549. Среди изомеров состава $C_6H_{12}O_5N_2$ выберите такой, из которого, не используя других углеродсодержащих соединений, в одну или две стадии можно получить соединение состава $C_3H_8O_3NCl$. Напишите уравнения реакций.

3550. Среди изомеров состава $C_6H_{12}O_3S_2N_2$ выберите такой, из которого, не используя других углеродсодержащих соединений,

в одну или две стадии можно получить соединение состава $C_3H_9O_6S_2N$. Напишите уравнения реакций.

3551. Среди изомеров состава $C_6H_{12}O_3N_2$ выберите такой, из которого, не используя других углеродсодержащих соединений, в одну или две стадии можно получить соединение состава $C_3H_6NO_2K$. Напишите уравнения реакций.

3552. Среди изомеров состава $C_{10}H_{16}O_7N_2$ выберите такой, из которого, не используя других углеродсодержащих соединений, в одну или две стадии можно получить соединение состава $C_5H_{10}O_4NCl$. Напишите уравнения реакций.

3553. Среди изомеров состава $C_4H_8O_3N_2$ выберите такой, из которого, не используя других углеродсодержащих соединений, в одну или две стадии можно получить соединение состава $C_2H_6N_2O_5$. Напишите уравнения реакций.

3554. Среди изомеров состава C_8H_9OK выберите такой, из которого, не используя других углеродсодержащих соединений, в две стадии можно получить соединение состава $C_8H_7O_7N_3$. Напишите уравнения реакций.

3555. Среди изомеров состава C_7H_7ONa выберите такой, из которого, не используя других углеродсодержащих соединений, в две стадии можно получить соединение состава $C_7H_6N_2O_5$. Напишите уравнения реакций.

3556. Среди изомеров состава $C_7H_7NO_2$ выберите такой, из которого, не используя других углеродсодержащих соединений, в две стадии можно получить соединение состава $C_7H_{10}NCl$. Напишите уравнения реакций.

3557. Среди изомеров состава $C_{12}H_{26}O_3N_4$ выберите такой, из которого, не используя других углеродсодержащих соединений, в одну или две стадии можно получить соединение состава $C_6H_{16}O_8N_4$. Напишите уравнения реакций.

3558. Среди соединений состава $C_5H_8O_2Cl_2$ выберите такое, из которого в две стадии, не используя других углеродсодержащих соединений, можно получить соединение состава $C_5H_{14}O_2N_2Cl_2$. Напишите уравнения реакций.

3559. Среди изомеров состава $C_8H_8O_2K_2$ выберите такой, из которого, не используя других углеродсодержащих соединений, в две или три стадии можно получить соединение состава $C_8H_8O_6N_2$. Напишите уравнения реакций.

3560. Из *м*-динитробензола, не используя других углеродсодержащих соединений, получите соль состава $C_6H_{15}O_3N_3$. Напишите уравнения реакций.

3561. В реакции со щелочью соединения состава $C_4H_{10}O_5N_2$ образуется наряду с другими веществами природное соединение

состава $C_3H_7O_2N$. Приведите один из возможных вариантов уравнения этой реакции.

3562. Природное соединение состава $C_9H_{14}O_7N_5P$ в реакции со щелочью образует один из продуктов состава $C_9H_{13}O_4N_5$. Приведите один из возможных вариантов уравнения этой реакции, а также уравнение реакции гидролиза в кислой среде соединения $C_9H_{13}O_4N_5$.

3563. Из *п*-нитротолуола, не используя других углеродсодержащих соединений, получите соль состава $C_7H_8O_2NCl$. Напишите уравнения реакций.

3564*. Из пропена получите в две стадии органическое соединение, содержащее азот и кислород (обязательно используйте реакции, протекающие по механизмам A_E и S_N). Напишите уравнения реакций.

3565*. Из бензола, не используя другие органические соединения, получите в три стадии органическое соединение, содержащее азот и бром (обязательно используйте две реакции, протекающие по механизму S_E). Напишите уравнения реакций.

3566. Как выделить пиридин из его смеси с бензолом, фенолом и анилином?

3.18. КОМБИНИРОВАННЫЕ УПРАЖНЕНИЯ И ЗАДАЧИ ПО ОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ

3567. Покажите, как условия получения полимера влияют на его свойства.

3568. Приведите пример полимера, получаемого по реакции поликонденсации.

3569. Приведите примеры термопластичных и термореактивных полимеров.

3570. Приведите пример полиамидного волокна. Покажите строение его элементарного звена.

3571. Приведите пример полиэфирного волокна. Покажите строение его элементарного звена.

3572. Приведите пример полимера, получаемого по реакции сополимеризации.

3573. Приведите уравнение реакции полимеризации стирола.

3574. Опишите поведение каучука в воде, этаноле, хлороформе.

3575. Приведите схему реакции получения фенолоформальдегидной смолы.

3576. Приведите схему реакции получения бутадиенстирольного каучука.

3577. Приведите схему реакции получения капрона.

3578. Приведите пример полимера, являющегося сложным эфиром и содержащего в элементарном звене два атома азота.

3579*. Среди перечисленных соединений найдите вещества, имеющие оптические изомеры: аланин, глицерин, пропаналь, молочная кислота, ацетон, метилацетат, метилэтиловый эфир. Напишите формулы оптических изомеров.

3580*. Среди перечисленных ниже веществ найдите два, которые могут существовать в виде оптических изомеров: молочная кислота, пировиноградная кислота, акриловая кислота, глицин, аланин, метилпиридин. Напишите для каждого из этих веществ их оптические изомеры, а также уравнение реакции, протекающей между этими веществами.

3581*. Имеется смесь молочной кислоты, метилэтилового эфира, метилэтилизопропиламина, диметилпропаналя и 1,1-дихлорбутена-2. Какое (какие) из перечисленных веществ имеет (имеют) оптические изомеры? Какое (какие) из перечисленных веществ имеет (имеют) *цис-транс*-изомеры? Как из этой смеси можно выделить метилэтиловый эфир?

3582. Из этанола, не используя других углеродсодержащих соединений, получите не менее шести соединений, относящихся к различным классам органических соединений, не содержащих кислород.

3583. Из 1-бромпропана, не используя других углеродсодержащих соединений, получите три органических соединения, в молекулах которых имеются атомы только C, H, O и N.

3584. Имеются три раствора:

а) метиламин + пиридин + вода;

б) вода + формальдегид + уксусная кислота;

в) глицерин + вода + глюкоза.

Как с помощью одного реактива можно распознать каждый из этих растворов? Приведите два варианта ответа.

3585. Выберите любой сложный эфир с формулой $C_nH_{2n+1}O_2N$ и получите из него в две стадии простой эфир с формулой $C_mH_{2m+2}O$ ($m > n$). Все атомы углерода в составе простого эфира входили в состав сложного эфира. Напишите уравнения реакций.

3586. Из пропаналя, хлороводорода, уксусной кислоты, аммиака и дихромата калия, не расходуя никаких других соединений, получите три кислоты, содержащие по три атома углерода.

3587. Из карбоната бария, уксусной кислоты, хлороводорода, дихромата калия и пропанола-1, не расходуя никаких других соединений, получите соли двух кислот, содержащих по три атома углерода.

3588. Из 1-бромбутана, серной кислоты, хлороводорода и перманганата калия, не расходуя никаких других соединений, получите две кислоты, содержащие по четыре атома углерода.

3589. Из аммиака, хлора, водорода и оксида углерода (II), не расходуя никаких других соединений, получите хлороводородную соль глицина.

3590. Выберите такой сложный эфир, из которого можно получить аланилглицин, не используя других органических соединений. Напишите уравнения реакций.

3591. Из этанола, не используя других углеродсодержащих соединений, получите шесть разных кислот, имеющих в молекулах хотя бы один атом углерода. Напишите уравнения реакций.

3592. Из метанола, не используя других углеродсодержащих соединений, получите шесть органических соединений, относящихся к различным классам. Напишите уравнения реакций.

3593. Из бутана, не используя других углеродсодержащих соединений, получите семь разных солей кальция, в состав которых входит углерод. Напишите уравнения реакций.

3594. Из глюкозы, не используя других углеродсодержащих соединений, получите девять бариевых солей кислот, содержащих в составе углерод. Напишите уравнения реакций.

3595. Имеются серная кислота и вода. Добавьте к ним по одной природной пентозе и гексозе и получите с помощью только этих веществ, не прибегая к электролизу, полный сложный эфир состава $C_{15}H_{22}O_{10}$. Выбор катализаторов не ограничен.

3596. Из сахарозы, не прибегая к другим углеродсодержащим соединениям, получите две соли, в состав каждой из которых входят атомы четырех элементов второго периода периодической системы.

3597. Соединение А — кристаллическое вещество сладкого вкуса, вступающее в реакцию с гидроксидом кальция с образованием растворимого соединения В. При пропускании через раствор В углекислого газа образуется осадок С и вновь вещество А. Предложите возможный вариант соответствия букв А, В, С веществам и напишите уравнения реакций.

3598. Соединение А — кристаллическое вещество сладкого вкуса, вступающее в реакцию этерификации с уксусной кислотой в молярном соотношении 1 : 5 с образованием вещества В. При восстановлении вещества А водородом образуется вещество С, также вступающее в реакцию этерификации с уксусной кислотой, но в другом молярном соотношении. Предложите возможный вариант соответствия букв А, В, С веществам и напишите уравнения реакций.

3599. Соединение А — бесцветная жидкость с острым запахом, хорошо растворимая в воде. В присутствии красного фосфо-

ра вступает в реакцию с хлором, превращаясь в вещество В. При действии аммиака вещество В превращается в вещество С, вступающее в реакции как с неорганическими кислотами, так и с неорганическими основаниями. Предложите возможный вариант соответствия букв А, В, С веществам и напишите уравнения реакций.

3600. Соединение А — волокнистое вещество, не растворимое в воде и не растворимое в большинстве органических растворителей, в реакции гидролиза образует вещество В, которое в определенных условиях превращается в С — жидкость, способную образовывать сложные эфиры как с кислотами, так и со спиртами. Предложите возможный вариант соответствия букв А, В, С веществам и напишите уравнения реакций.

3601. Не растворимое в воде, но растворимое в аммиачном растворе гидроксида меди (II) соединение А в реакции гидролиза образует вещество В, которое в определенных условиях превращается в С — жидкое вещество, реагирующее с натрием, но не реагирующее с водным раствором гидроксида натрия. Предложите возможный вариант соответствия букв А, В, С веществам и напишите уравнения реакций.

3602. Соединение А — кристаллическое вещество, растворимое в воде, образующее с нитратом серебра белый творожистый осадок В. При действии щелочи на вещество А образуется соединение С — бесцветная маслянистая жидкость, малорастворимая в воде, быстро темнеющая на воздухе вследствие окисления. Предложите возможный вариант соответствия букв А, В, С веществам и напишите уравнения реакций.

3603. Кристаллическое, растворимое в воде вещество А не вступает в реакцию гидролиза. Вещество А реагирует с хлороводородом в молярном соотношении 1 : 1 и с гидроксидом натрия в таком же соотношении. При сгорании вещества А образуются два газообразных вещества — В и С, одно из которых не вызывает помутнения известковой воды. Предложите возможный вариант соответствия букв А, В, С веществам и напишите уравнения реакций.

3604. Кристаллическое, растворимое в воде вещество А вступает в реакцию гидролиза в щелочной среде, в результате чего образуется только одно вещество — соль В. Вещество В может вступить в реакцию с хлороводородом в молярном соотношении 1 : 3; при этом образуются две соли — С и D. При сгорании вещества А образуются два газообразных вещества, не поддерживающих горения. Предложите возможный вариант соответствия букв А, В, С веществам и напишите уравнения реакций.

3605. Растворимое в воде вещество А вступает в реакцию гидролиза в присутствии соляной кислоты, в результате чего

образуется только одно вещество — соль B. Вещество B может вступить в реакцию с гидроксидом натрия в молярном соотношении 1 : 2; при этом образуются две соли — C и D. При сгорании вещества A образуются три соединения. Предложите возможный вариант соответствия букв A, B, C веществам и напишите уравнения реакций.

3606. Вещество A — бесцветная жидкость, ограниченно растворимая в воде, на воздухе быстро окисляется и темнеет. Окрашивает сосновую палочку, смоченную соляной кислотой, в красный цвет. При гидрировании вещества A образуется вещество B — основание, образующее с хлороводородом соль C. Предложите возможный вариант соответствия букв A, B, C веществам и напишите уравнения реакций.

3607. Вещество A — бесцветная жидкость с неприятным запахом, смешивающаяся с водой в любых отношениях. В реакции вещества A с соляной кислотой образуется соль B. Вещество A нитруется в жестких условиях, при этом получается вещество C. Предложите возможный вариант соответствия букв A, B, C веществам и напишите уравнения реакций.

3608. Вещество A — бесцветная жидкость со специфическим алкогольным запахом, растворяющаяся в воде в неограниченных количествах. При нагревании вещества A в присутствии концентрированной серной кислоты образуется газ B тяжелее воздуха. С хлороводородом вещество A вступает в реакцию замещения, образуя вещество C. Вещество B вступает с хлороводородом в реакцию присоединения, образуя вещество D. Вещества C и D являются изомерами. Предложите возможный вариант соответствия букв A, B, C и D веществам и напишите уравнения реакций.

3609. Газообразные вещества A и B вступают между собой в реакцию при повышенных температуре и давлении в присутствии катализатора. Образующаяся при этом жидкость C имеет специфический алкогольный запах. Эта жидкость растворяется в воде в неограниченных количествах. Вещество C при нагревании в присутствии концентрированной серной кислоты образует только одно органическое вещество D. Предложите возможный вариант соответствия букв A, B, C и D веществам и напишите уравнения реакций.

3610. Бесцветный газ A, почти без запаха, немного легче воздуха, плохо растворимый в воде, способен реагировать с хлороводородом с образованием вещества B, применяющегося для местной анестезии. Вещество B в реакции с натрием образует два вещества. Одно из них, C, широко применяется в пищевой промышленности; другое, D, входит в состав природного газа. Предложите возможный вариант соответствия букв A, B, C и D веществам и напишите уравнения реакций.

3611. Соединение А — бесцветное, кристаллическое вещество с характерным запахом, мало растворимое в холодной воде, но с горячей водой смешивающееся в любых отношениях. В реакции с гидроксидом натрия соединение А образует вещество В, которое может реагировать с газом С, входящим в небольших количествах в состав воздуха. Вещество А способно вступать в реакцию поликонденсации с формальдегидом, образуя соединение D. Предложите возможный вариант соответствия букв А, В, С и D веществам и напишите уравнения реакций.

3612. Соединение А — бесцветная, сиропообразная жидкость сладковатого вкуса, хорошо растворимая в воде. Вещество А может реагировать с хлороводородом, при этом образуется соединение В, и с азотной кислотой, при этом образуется вещество С. Вещество А может реагировать с основанием D, образуя продукт ярко-синего цвета. Предложите возможный вариант соответствия букв А, В, С и D веществам и напишите уравнения реакций.

3613. Бесцветный газ А имеет резкий запах. Водный раствор А хорошо свертывает белок. Вещество А способно как окисляться, так и восстанавливаться. При восстановлении вещества А образуется жидкость В, вступающая в реакцию с пропионовой кислотой при нагревании в присутствии серной кислоты, в результате чего образуется соединение С легче воды. Предложите возможный вариант соответствия букв А, В и С веществам и напишите уравнения реакций.

3614*. Соединение X, вступающее в реакции A_E и A_N, после гидрирования превращается в соединение Y, вступающее в реакции S_N. Составьте уравнение реакции превращения X в Y в общем виде, показывая функциональные группы.

3615*. Соединение X вступает в реакции S_E и A_E. Из соединения X в одну стадию можно получить соединение Y, вступающее в реакции S_E и S_N. Составьте уравнение реакции превращения X в Y на конкретном примере.

3616*. Вещество А состава $C_8H_8O_3$ может вступать в реакции, протекающие по механизмам электрофильного и нуклеофильного замещения. При взаимодействии вещества А с бромом образуется вещество В состава $C_8H_6Br_2O_3$, при нагревании с раствором гидроксида калия получается соединение С состава $C_7H_4O_3K_2$, а в реакции аммиаком — соединение D состава $C_7H_7NO_2$. Предложите одну из возможных структур вещества А и напишите уравнения реакций.

3617*. Вещество А состава $C_8H_{11}NO_2$ может вступать в реакции, протекающие по механизмам нуклеофильного и электрофильного замещения. При взаимодействии вещества А с бромом

образуется вещество B состава $C_8H_{10}BrNO_2$. В реакции вещества A с этанолом в кислой среде образуется вещество C состава $C_{10}H_{15}NO_2$, при взаимодействии вещества A с калием получается вещество D состава $C_8H_9K_2NO_2$. Предложите одну из возможных структур вещества A и напишите уравнения реакций.

3618*. Вещество A состава $C_9H_{18}O_2$ может вступать в реакции, протекающие по механизму нуклеофильного замещения. При нагревании вещества A с разбавленным раствором серной кислоты образуется вещество B состава $C_7H_{12}O$, в реакции вещества B с насыщенным раствором гидросульфита натрия образуется кристаллическое вещество C состава $C_7H_{13}NaO_4S$, при взаимодействии вещества B с аммиачным раствором оксида серебра получается вещество D состава $C_7H_{12}O_2$. Предложите одну из возможных структур вещества A и напишите уравнения реакций.

3619*. Вещество A состава $C_{11}H_{10}O_2$ может вступать в реакции, протекающие по механизмам электрофильного и нуклеофильного замещения, а также электрофильного присоединения. При взаимодействии вещества A с разбавленным раствором гидроксида натрия образуется вещество B состава $C_{11}H_9O_2Na$, при взаимодействии с аммиаком при нагревании — соединение C состава $C_{11}H_{11}NO$, в реакции с бромоводородом — соединение D состава $C_{11}H_{11}BrO_2$. Предложите одну из возможных структур вещества A и напишите уравнения реакций.

3620. В приведенной ниже последовательности реакций буквами обозначены органические вещества. Установите структуру вещества X и напишите уравнения обеих реакций:

а) $X + NaOH \xrightarrow{t} Y + HCOONa$

б) $Y + HCl\ (г) \rightarrow CH_3—CHCl—CH_3 + H_2O$

3621. В приведенной ниже последовательности реакций буквами обозначены органические вещества (коэффициенты не указаны). Установите структуру вещества X и напишите уравнения обеих реакций:

а) $X + HNO_3 \xrightarrow{t,\ H_2SO_4\ (конц)} Y + H_2O$

б) $Y + (NH_4)_2S \rightarrow C_6H_5NH_2 + H_2O + S + NH_3$

3622. В приведенной ниже последовательности реакций буквами обозначены органические вещества. Установите структуру вещества X и напишите уравнения обеих реакций:

а) $X + H_2 \xrightarrow{p,\ Ni} Y$

б) $Y + C_2H_5COOH \underset{\longleftarrow}{\overset{t,\ H^+}{\longrightarrow}} C_2H_5-C(=O)-O-C_2H_5 + H_2O$

3623. В приведенной ниже последовательности реакций буквами обозначены *органические вещества. Установите* возможную структуру вещества X и напишите уравнения обеих реакций:

а) $X \xrightarrow{t,\ H_2SO_4\ (конц)} Y + H_2O$

б) $Y + I_2 \rightarrow CH_2I-CHI-CH_3$

3624. В приведенной ниже последовательности реакций буквами обозначены органические вещества (коэффициенты не указаны). Установите возможную структуру вещества X и напишите уравнения обеих реакций:

а) $X \xrightarrow{400\ ^\circ C,\ Al_2O_3} Y + H_2O + H_2$

б) $Y + Br_2 \rightarrow CH_2Br-CH=CH-CH_2Br$

3625. В приведенной ниже последовательности реакций буквами обозначены органические вещества. Установите возможную структуру вещества X и напишите уравнения обеих реакций:

а) $X + H_2O \underset{\longleftarrow}{\overset{t,\ H^+}{\longrightarrow}} Y + C_2H_5OH$

б) $Y \xrightarrow{t,\ H_2SO_4\ (конц)} CO + H_2O$

3626. В приведенной ниже последовательности реакций буквами обозначены органические вещества (коэффициенты не указаны). Установите структуру вещества X и напишите уравнения обеих реакций:

а) $X + KOH \xrightarrow{t} Y + H_2O$

б) $Y + HCl \rightarrow HCl \cdot NH_2-CH_2-COOH + KCl$

3627. В приведенной ниже последовательности реакций буквами обозначены органические вещества (коэффициенты не указаны). Установите возможную структуру вещества X, напишите уравнения обеих реакций и укажите, при каких условиях протекает вторая реакция:

а) $X + H_2O \xrightarrow{t,\ H^+} Y$

б) $Y \rightarrow C_2H_5OH + CO_2$

3628. В приведенной ниже последовательности реакций буквами обозначены органические вещества (коэффициенты не указаны). Установите структуру вещества X и напишите уравнения обеих реакций:

а) $X + HCl \rightarrow Y$

б) $Y + NH_3 \rightarrow NH_2-CH_2-CH_2-COOH + NH_4Cl$

3629. В приведенной ниже последовательности реакций буквами обозначены органические вещества (коэффициенты не указаны). Установите структуру вещества X и напишите уравнения обеих реакций:

а) $X + H_2O \xrightarrow{t,\ Hg^{2+}} Y$

б) $Y + K_2Cr_2O_7 + H_2SO_4 \rightarrow CH_3COOH + Cr_2(SO_4)_3 + K_2SO_4 + H_2O$

3630. В приведенной ниже последовательности реакций буквами обозначены органические вещества (коэффициенты не указаны). Установите структуру вещества X и напишите уравнения обеих реакций:

а) $X + KMnO_4 + H_2O \rightarrow Y + MnO_2\downarrow + KOH$

б) $Y + HCl\ (г) \rightarrow Cl-CH_2-CH_2-OH + H_2O$

3631. В приведенной ниже последовательности реакций буквами обозначены органические вещества (коэффициенты не указаны). Установите структуру вещества X и напишите уравнения обеих реакций:

а) $X + Mg \xrightarrow{t} Y + MgCl_2$

б) $Y + H_2O \xrightarrow{t,\ H^+} CH_3-CH(OH)-CH_3$

3632. В приведенной ниже последовательности реакций буквами обозначены органические вещества (коэффициенты не указаны). Установите структуру вещества X и напишите уравнения обеих реакций:

а) $X + Na \rightarrow Y + NaI$

б) $Y + O_2 \xrightarrow{t,\ кат} CH_3COOH + H_2O$

3633. В приведенной ниже последовательности реакций буквами обозначены органические вещества (коэффициенты не указаны). Установите возможную структуру вещества X и напишите уравнения обеих реакций:

а) $X + KOH\ (спирт.\ р\text{-}р) \xrightarrow{t} Y + KBr + H_2O$

б) $Y + KMnO_4 + H_2SO_4 \rightarrow Ацетон + MnSO_4 + K_2SO_4 + H_2O$

3634. Составьте уравнения реакций с использованием структурных формул веществ, предварительно выбрав подходящее значение n, по схеме:

$$C_nH_{2n-4}NCl \rightarrow C_nH_{2n-5}N \rightarrow C_nH_{2n+1}N \rightarrow C_nH_{2n+2}NBr$$

3635. Составьте уравнения реакций с использованием структурных формул веществ, предварительно выбрав подходящее значение n, по схеме:

$$C_nH_{2n-7}O_2N \rightarrow C_nH_{2n-4}NCl \rightarrow C_nH_{2n-5}N \rightarrow C_nH_{2n-7}NBr_2$$

3636. Составьте уравнения реакций с использованием структурных формул веществ, предварительно выбрав подходящее значение n, по схеме:

$$C_nH_{2n-6} \rightarrow C_nH_{2n-7}O_2N \rightarrow C_{n-1}H_{2n-11}O_4N \rightarrow C_{n-1}H_{2n-9}O_2N$$

3637. Составьте уравнения реакций с использованием структурных формул веществ, предварительно выбрав подходящее значение n, по схеме:

$$C_nH_{2n-8}O_4N_2 \rightarrow C_{n-2}H_{2n-13}O_4N \rightarrow C_{n-2}H_{2n-11}O_2N \rightarrow C_{n-2}H_{2n-9}O_6NS$$

3638. Составьте уравнения реакций с использованием структурных формул веществ, предварительно выбрав подходящее значение n, по схеме:

$$C_nH_{2n+2}O_2NCl \rightarrow C_nH_{2n-1}O_2Cl \rightarrow C_nH_{2n+1}O_2N \rightarrow C_{n+1}H_{2n+4}O_2NCl$$

3639. Составьте уравнение реакции с использованием структурных формул веществ, предварительно выбрав подходящее значение n:

$$C_nH_{2n-6}N_5O_7P + 2H_2O + HCl \rightarrow H_3PO_4 + C_{n-5}H_{2n-10}O_5 + X$$

X — соль вещества, остатки которого входят в состав соединений, относящихся к одному из важнейших классов природных соединений. Напишите для X уравнение реакции с избытком этиламина.

3640. Массовая доля азота в органическом веществе, молекула которого состоит из атомов трех элементов, равна 16,47%. Плотность паров этого соединения равна плотности дихлорметана. При его обработке на холоду избытком водного раствора

перманганата калия образуется осадок. Вычислите максимальную массу хлороводорода, с которой вступает во взаимодействие 2,55 г исходного вещества.

3641. Молекула циклического органического вещества состоит из 16 атомов, причем число атомов азота равно числу атомов кислорода, а число атомов углерода — числу атомов водорода. Плотность паров этого вещества больше плотности паров бромбутана, но меньше плотности паров бромуксусной кислоты. Какую массу органического вещества можно выделить из раствора после восстановления 55,2 г исходного соединения избытком железа и избытком соляной кислоты?

3642. При окислении предельного одноатомного спирта дихроматом калия в кислой среде были получены с 60%-м выходом кислота массой 26,4 г и с 30%-м выходом альдегид массой 10,8 г. Вычислите массу не вступившего в реакцию спирта.

3643. В сложном эфире, плотность паров которого меньше плотности паров стирола, число вторичных атомов углерода в 4 раза меньше числа первичных атомов углерода, а в кислоте, образующейся при гидролизе этого эфира, число вторичных атомов углерода в 2 раза меньше числа первичных. При обработке кислоты небольшим избытком нейтрального водного раствора перманганата калия образовалось 8,7 г осадка оксида марганца (IV), который сразу отфильтровали. Вычислите массу находящейся в растворе соли.

3644. Соединение состава $C_3H_4O_4$ обработали при нагревании избытком аммиачного раствора оксида серебра, при этом образовался осадок. Масса азота в выделенном органическом соединении составила 0,42 г. Вычислите, какой объем 98%-й уксусной кислоты (пл. 1,055 г/мл) требуется для проведения реакции этерификации (выход 5%) с образовавшимся веществом после подкисления серной кислотой.

3645. Соединение состава $C_5H_{10}O_2$ обработали на холоду нейтральным раствором перманганата калия, при этом образовался осадок массой 3,48 г. При обработке образовавшегося органического вещества избытком натрия выделилось 2,016 л (н. у.) газа. Вычислите массовую долю натрия в продукте последней реакции.

3646. Из сложного эфира состава $C_4H_6O_2$ в результате последовательных реакций гидролиза и окисления получена кислота, масса которой на 5% превышала массу исходного сложного эфира. Одна из реакций протекала с выходом 90%. Установите строение исходного эфира и вычислите выход другой реакции.

3647. 2-Бромпропан массой 98,4 г обработали горячей водой. После удаления выделившегося бромоводорода и избытка воды масса смеси оказалась на 41,0% меньше массы исходного бром-

алкана. Образовавшийся спирт выделили и подвергли дегидратации в присутствии серной кислоты. После удаления алкена, воды и серной кислоты масса смеси веществ составила 15,0 г, причем массовая доля простого эфира в 1,5 раза оказалась больше массовой доли спирта. Вычислите выходы всех трех реакций.

3648. Порцию газообразного бутаналя, в которой содержится 4 моль атомов водорода, смешали с четырехкратным объемом водорода, после чего нагрели в закрытом сосуде над платиновым катализатором. По окончании реакции давление упало на 17% (температура не менялась). Образовавшийся спирт выделили из смеси газов и подвергли дегидратации в присутствии серной кислоты. Масса простого эфира оказалась в 2 раза больше массы алкена, объем которого составил 3,36 л (н. у.). Вычислите выходы всех трех реакций.

3649. Пропаналь восстановили до спирта, который затем этерифицировали смесью уксусной и масляной кислот. После удаления избытка кислот в оставшейся смеси массовые доли трех органических веществ оказались равными между собой. Углекислый газ, выделившийся при сжигании этой смеси, пропустили над раскаленным углем, в результате чего получили при 1000 °С и нормальном давлении 268 л смеси газов общей массой 80,6 г. Вычислите выходы двух реакций этерификации, а также выход реакции восстановления. Известно, что не вступивший в реакцию пропаналь был полностью окислен гидроксидом меди (II) при нагревании и при этом образовалось 21,8 г осадка.

3650. В смеси двух соединений, отличающихся по составу на одну гомологическую разность, число атомов азота равно числу молекул. Для сжигания половины этой смеси потребовалось 8,008 л (н.у.) кислорода. Продукты сгорания пропустили последовательно через склянки с концентрированной серной кислотой и щелочью. Масса первой склянки увеличилась на 2,79 г, а второй — на 12,32 г. Не поглотился газ объемом 560 мл. К другой половине смеси добавили избыток бромной воды, при этом в реакцию вступило только одно вещество. Вычислите массу выпавшего осадка.

3651. В смеси двух соединений, отличающихся по составу на одну гомологическую разность, число атомов азота равно числу молекул. Для сжигания половины этой смеси потребовалось 9,016 л (н. у.) кислорода. Продукты сгорания пропустили последовательно через трубку с оксидом фосфора (V) и склянку с концентрированным раствором гидроксида калия. Масса трубки увеличилась на 5,13 г, а склянки — на 11,44 г. Не поглотился газ объемом 560 мл. Вычислите массовые доли веществ в исходной смеси.

3652. В смеси двух соединений, отличающихся по составу на одну гомологическую разность, число атомов азота равно числу

молекул. Для сжигания половины этой смеси потребовалось 5,88 л (н. у.) кислорода. Продукты сгорания пропустили последовательно через трубку с безводным сульфатом меди и склянку с концентрированным раствором гидроксида натрия. Масса трубки увеличилась на 2,25 г, а склянки — на 8,8 г. Не поглотился газ объемом 336 мл. Максимальная масса 3,2%-го водного раствора брома, с которой может вступить в реакцию вторая половина исходной смеси, равна 150 г. Установите возможное строение вещества, массовая доля которого в растворе больше (приведите формулы четырех изомеров).

3653. 1 моль толуола подвергли мононитрованию. Выделенную смесь органических веществ, имеющую массу на 29,35% больше исходной массы толуола, обработали при нагревании избытком перманганата калия в кислой среде, в реакцию вступило 0,78 моль окислителя. После удаления неорганических веществ смесь обработали железом и соляной кислотой, взятыми в избытке, в результате чего получили 83,56 г смеси азотсодержащих солей, в которой массовая доля кислорода равна 16,54%. Оставшаяся после выделения солей смесь органических соединений при обработке избытком гидрокарбоната натрия выделила 4,48 л газа (н. у.). Установите, какая реакция протекала с максимальным выходом, и вычислите его (ни одна реакция не протекала с выходом 100%; побочные продукты не образовывались; при образовании изомеров выход считать на сумму изомеров).

3654. В смеси двух сложных эфиров, не реагирующих с бромной водой, представлены атомы четырех элементов. Через смесь эфиров пропустили избыток хлороводорода, масса органических веществ при этом увеличилась на 12,85 г. При последующем добавлении к смеси органических веществ раствора нитрата серебра по каплям образовалось 28,7 г осадка. Органические вещества после отделения осадка обработали избытком горячего раствора гидроксида калия, в результате чего получили смесь солей четырех одноосновных кислот общей массой 94,55 г с массовой долей калия 41,25% и смесь спиртов, молярные массы которых отличаются на 16 г/моль, с относительной плотностью паров по водороду 27,8. Установите строение исходных соединений и вычислите их массы.

3655. Монохлорпроизводное карбоновой кислоты гомологического ряда муравьиной кислоты обработали избытком аммиака. Выделенное органическое вещество, масса которого оказалась на 18% меньше исходной кислоты, нагрели с 56 г смеси предельного одноатомного спирта и серной кислоты, в которой массовая доля спирта равна 38,4%. По окончании реакции и выделения соли в растворе осталось по 10 г кислоты и спирта. Выделенную соль обработали 300 г 15,6%-го раствора хлорида бария. Вы-

числите массовые доли веществ в образовавшемся растворе. Условно считать, что выходы всех реакций равны 100%.

3656. Монобромпроизводное карбоновой кислоты гомологического ряда муравьиной кислоты обработали избытком аммиака. Выделенное органическое вещество, масса которого отличается от исходной кислоты в 1,62 раза, нагрели с 14,7 г смеси предельного одноатомного спирта и серной кислоты, в которой массовая доля кислоты равна 50%. По окончании реакции образовалась одна соль, после ее выделения остался раствор массой 7,7 г, в котором массовая доля кислоты равна 31,8%. Выделенную соль обработали 100 г 26,1%-го раствора нитрата бария. Вычислите массовые доли веществ в образовавшемся растворе. Условно считать, что выходы всех реакций равны 100%.

3657. Моноиодпроизводное карбоновой кислоты гомологического ряда муравьиной кислоты обработали избытком аммиака. Масса образовавшейся аминокислоты составила 61,38% от массы образовавшейся соли. Аминокислоту нагрели с 12,7 г смеси предельного одноатомного спирта и серной кислоты, в которой массовая доля кислоты равна 84,88%. По окончании реакции и выделения двух гидросульфатов остался раствор, содержащий 0,98 г серной кислоты и 1,08 г воды. К смеси солей добавили 100 г 22%-го раствора гидрокарбоната калия. Вычислите массы образовавшихся органических соединений.

3658. Порция вещества A, не реагирующего с бромной водой и содержащего один третичный атом углерода, имеет состав: 1,4 моль углерода, 0,2 моль азота, 0,4 моль хлора и водород. При обработке этого вещества избытком водного холодного раствора щелочи получили вещество B, содержащее 0,2 моль хлора. При обработке вещества B горячим раствором щелочи получили вещество C. В молекуле C содержится всего 18 атомов, среди которых нет атомов хлора. После нагревания вещества C с избытком концентрированного раствора серной кислоты получили 40,6 г вещества D, в котором массовая доля углерода равна 41,38%. Установите возможное строение вещества D (приведите 2 структурные формулы).

3659. Порция вещества A, не реагирующего с бромной водой и не имеющего третичных атомов углерода, имеет состав: 2,1 моль углерода, 0,3 моль азота, 0,9 моль брома и водород. При обработке этого вещества избытком водного холодного раствора щелочи получили вещество B, содержащее 0,6 моль брома. При обработке вещества B спиртовым раствором щелочи получили вещество C массой 30,9 г. Относительная плотность паров вещества C по изооктану меньше 1. К последнему веществу добавили 50 г 19,6%-го раствора серной кислоты и каталитические следы солей ртути (II). Установите строение образовавшихся веществ.

Вычислите число образовавшихся молекул вещества с меньшей молярной массой.

3660. Для сжигания органического вещества, плотность паров которого меньше плотности паров бромбензола, необходимо 3,528 л (н. у.) кислорода. Продукты сгорания пропустили через склянку с концентрированной серной кислотой, масса склянки увеличилась на 1,35 г; оставшийся газ объемом 3,024 л (н. у.) полностью поглотился щелочью. Такую же массу исходного соединения обработали избытком раствора щелочи при нагревании. Из раствора выделили соль массой 2,61 г, в которой массовая доля калия равна 22,41%. Установите массу, состав и возможное строение исходного соединения (приведите одну структурную формулу).

3661. Для сжигания органического вещества, плотность паров которого больше плотности паров нитробензола, но меньше плотности паров динитробензола, потребовалось 2,688 л (н. у.) кислорода. Продукты сгорания пропустили через трубку с оксидом фосфора (V), масса трубки увеличилась на 1,08 г, оставшийся газ полностью поглотился избытком известковой воды, при этом выпало 10 г осадка. Такую же массу исходного соединения обработали избытком раствора гидроксида натрия, образовавшееся летучее вещество обработали избытком подкисленного раствора перманганата калия. После сгорания продукта последней реакции получили 0,11 моль смеси газов с плотностью 1,10 г/л (123 °С, 98 кПа). Установите массу, состав и возможное строение исходного соединения (приведите одну структурную формулу).

3662. Для сжигания органического вещества, плотность паров которого меньше плотности паров иодбензола, потребовалось 6,08 г кислорода. Продукты сгорания полностью поглотились избытком известковой воды, при этом масса склянки увеличилась на 9,36 г и образовалась нерастворимая соль массой 18 г. Такую же массу исходного соединения обработали при нагревании избытком раствора серной кислоты. К полученной смеси веществ добавили избыток аммиачного раствора оксида серебра, при этом образовалось 8,64 г серебра. В оставшемся органическом соединении массовая доля кислорода оказалась больше массовой доли азота в 3,43 раза. Установите массу, состав и возможное строение исходного соединения (приведите одну структурную формулу).

3663. Для сжигания органического вещества, плотность паров которого меньше плотности паров бромпропана, потребовалось 3,36 л (н. у.) кислорода. В образовавшейся при этом смеси двух оксидов с относительной плотностью по водороду 15,5 общее число атомов составило $4{,}515 \cdot 10^{23}$. При восстановлении водоро-

дом исходного соединения масса образующегося продукта увеличивается на 1,695%, а при окислении исходного соединения подкисленным раствором перманганата калия масса продукта возрастает на 25,42%. Установите массу, состав и возможное строение исходного соединения (приведите одну структурную формулу).

3664. Для сжигания органического вещества, плотность паров которого больше паров хлорпентана, но меньше плотности паров дихлорбутана, необходимый объем кислорода на 1/3 больше объема выделяющегося углекислого газа. При пропускании продуктов сгорания через концентрированную серную кислоту масса смеси уменьшилась на 29,03%, оставшийся газ полностью поглотился щелочью. При взаимодействии такой же массы исходного соединения на холоду с водным раствором перманганата калия образуется 2,32 г осадка. Летучее соединение, являющееся продуктом последней реакции, при обработке избытком натрия выделяет 1,344 л (н. у.) водорода. Установите массу, состав и возможное строение исходного соединения (приведите одну структурную формулу).

3665. Толуол подвергли монохлорированию при облучении, в выделенной смеси органических веществ массовая доля хлора составила 23,75%. Эту смесь обработали при нагревании водным раствором щелочи, масса выделенной после этой реакции смеси оказалась на 7,425% меньше массы предыдущей смеси. Выделенный из смеси спирт окислили с выходом 0,8 до кислоты, полученную смесь органических веществ нагрели в присутствии кислоты, в результате получили 21,2 г сложного эфира, а на нейтрализацию оставшейся органической кислоты израсходовано 70 г гидрокарбоната калия. Вычислите массу исходной порции толуола.

3666. Смесь двух монобромалканов и *п*-ксилола со средней молярной массой 140,1 г/моль обработали избытком водного раствора щелочи. После нейтрализации полученной смеси ее окислили избытком перманганата калия в кислой среде. В результате удаления всех неорганических веществ осталась смесь двух органических соединений общей массой 53,6 г. Эту смесь разделили на две равные части. Одну из них обработали избытком гидрокарбоната натрия, при этом выделилось 2,24 л газа (н. у.), другую — избытком натрия, что сопровождалось выделением 3,92 л газа. Установите строение и вычислите массы бромалканов, входивших в состав исходной смеси.

3667. Хлорпроизводное углеводорода, имеющего в парах плотность меньше плотности тетрахлорметана, и с массовой долей хлора 47%, обработали избытком нейтрального раствора перманганата калия на холоду. Оставшийся после удаления осадка и избытка перманганата калия раствор нагрели. Из этого раствора выделили два вещества с одинаковым углеродным скеле-

том. Вещество с меньшей молярной массой, вступая в реакцию «серебряного зеркала», образует 16,3 г соли с массовой долей азота 8,59%. Установите состав и возможное строение вещества с большей молярной массой и вычислите его массу.

3668. Смесь двух изомеров, состоящих из атомов трех элементов, массовая доля кислорода в которой равна 14,3%, имеет молярную массу больше, чем дихлорметан, но меньше, чем трихлорметан. Число третичных атомов углерода в смеси равно числу молекул. Смесь разделили на две равные части. Одну обработали натрием, при этом выделилось 0,15 моль газа. Другую восстановили водородом, масса образовавшейся смеси веществ оказалась на 1,786% больше. При дегидратации образовавшейся смеси веществ, прошедшей на 30% по межмолекулярному типу, а на 70% — по внутримолекулярному типу, выделилось 7,65 г воды. Установите возможное строение изомеров и вычислите их массы в исходной смеси.

3669. Смесь двух предельных ациклических альдегидов с плотностью по гелию 15,9, разделили на две равные части. Одну часть поместили в колбу и окислили гидроксидом меди (II) при нагревании, при этом образовалось 86,4 г осадка, обе реакции прошли на 100%. После удаления всех неорганических веществ в колбу поместили смесь спиртов, полученных при восстановлении водородом второй части альдегидов, и 40 г 98%-го раствора серной кислоты. В реакции этерификации вступило по 50% каждого спирта. Выделенная смесь сложных эфиров имела массу 27,12 г, массовая доля кислорода в ней равна 23,6%. На полную нейтрализацию оставшейся после выделения эфиров смеси веществ потребовалось 200 г 28%-го раствора гидроксида калия. Вычислите выход реакции гидрирования альдегида с большей молярной массой.

3670. Смесь бензола и толуола прохлорировали на свету, затем полученную смесь монохлорпроизводных, дихлорпроизводных и углеводородов подвергли бромированию в присутствии бромида железа (III) при нагревании. Смесь галогенпроизводных и углеводородов, в которой массовая доля брома составила 25,15%, обработали избытком щелочи при нагревании. Из полученной смеси выделили кислородсодержащие органические вещества общей массой 52,78 г; массовая доля кислорода в смеси равна 10,91%, при ее обработке избытком аммиачного раствора оксида серебра образуется 34,56 г серебра. Смесь веществ общей массой 30,16 г, оставшейся после выделения кислородсодержащих соединений, прокипятили с избытком нейтрального раствора перманганата калия, при этом образовалось 24,36 г осадка. Вычислите массовые доли углеводородов в исходной смеси.

3671. Масса углерода в смеси двух ациклических изомеров, содержащих атомы только трех элементов, равна 30 г. Пары смеси изомеров легче паров иодметана. При обработке этой смеси избытком аммиачного раствора оксида серебра образуется только один осадок (серебро массой 43,2 г) и только одна соль. В этой соли масса углерода равна 12 г, а массовая доля азота — 16,87%. Установите возможные структуры изомеров и вычислите объем водорода, требуемый для гидрирования исходной смеси изомеров такой же массы.

3672. Органическое соединение, состоящее из атомов четырех элементов и в котором массовая доля углерода равна массовой доле кислорода, имеет молярную массу меньше молярной массы сложного эфира, образованного уксусной и молочной кислотами. Это вещество обработали избытком воды, при этом образовалось 1,2 г гидроксида натрия. Продукт реакции обработали избытком аммиачного раствора оксида серебра, после чего подкислили и подвергли этерификации первичным одноатомным предельным спиртом (простые эфиры и непредельные углеводороды не образовались). В выделенной смеси четырех органических веществ общей массой 5,28 г суммарная массовая доля изомеров равна 66,67%. Количества веществ с максимальной и минимальной молярными массами оказались равными. Установите строение вещества с максимальной молярной массой и вычислите его массу.

3673. Органическое соединение, молекула которого состоит из 11 атомов трех элементов и в котором массовая доля углерода равна массовой доле кислорода, обработали свежеприготовленным гидроксидом меди (II) при нагревании, при этом образовалось 158,4 г осадка. В полученной смеси органических веществ массовая доля кислорода превысила массовую долю углерода в 1,733 раза. Эту смесь подвергли этерификации избытком первичного предельного одноатомного спирта. Выделенная по окончании реакции смесь органических веществ имела плотность 2,745 г/л (327 °С, 101 кПа), а число третичных атомов углерода в ней составило $1{,}565 \cdot 10^{24}$. Установите строение веществ, входящих в эту смесь, и вычислите массу дихромата натрия, необходимую для ее окисления в подкисленном растворе.

3674. Органическое соединение, молекула которого состоит из атомов трех элементов, обработали избытком магния, при этом получили 38 г соли и алкен. Алкен на холоду обработали слабощелочным раствором перманганата калия, реакция прошла с выходом 80%. Образовавшийся спирт этерифицировали уксусной кислотой, при этом в состав эфиров перешла половина спирта. Выделенная смесь сложных эфиров имеет среднюю молярную

массу 128,5 г/моль. Суммарное количество вещества изомеров в 3 раза больше количества вещества с наибольшей молярной массой. Масса кислорода в смеси эфиров равна 8,32 г. Установите строение исходного соединения.

3675. Органическое соединение, молекула которого состоит из атомов трех элементов, обработали избытком цинка, при этом получили 45 г соли и алкен. Алкен на холоду обработали слабощелочным раствором перманганата калия, реакция прошла с выходом 75%. Образовавшийся спирт нагрели с пропионовой кислотой в присутствии концентрированной серной кислоты. В эфиры перешло 60% спирта. Выделенная смесь сложных эфиров имеет среднюю молярную массу 169,3 г/моль. Количество вещества с наибольшей молярной массой в 2 раза больше суммарного количества вещества изомеров. Масса водорода в смеси эфиров равна 1,32 г. Установите строение исходного соединения.

3676. Органическое соединение, молекула которого состоит из атомов трех элементов, обработали избытком алюминия, при этом получили 97,92 г соли и алкен. Алкен на холоду обработали слабощелочным раствором перманганата калия, реакция прошла с выходом 90%. Образовавшийся спирт этерифицировали уксусной кислотой. В эфиры перешло 67,9% спирта. Выделенная смесь двух сложных эфиров имеет среднюю молярную массу 135,8 г/моль, всего в ней содержится $2{,}841 \cdot 10^{24}$ атомов. Количество вещества с меньшей молярной массой в 10 раз больше количества вещества с большей молярной массой. Установите строение исходного соединения.

3677. Смесь двух изомеров, один из которых является ацетальдегидом, обработали водой при нагревании в присутствии кислоты. После удаления воды получили смесь двух веществ, массовая доля кислорода в которой составила 40,34%. К полученной смеси добавили сначала избыток аммиачного раствора оксида серебра (I) при нагревании, а затем — после отделения осадка, масса которого составила 8,64 г, — избыток концентрированного раствора серной кислоты. Вычислите массы органических веществ, оставшихся после удаления всех неорганических веществ (выходы всех реакций равны 100%).

3678. Смесь двух изомеров, молекулы которых состоят из атомов трех элементов, имеет относительную плотность паров по диметиламину меньше 1. В этой смеси массовая доля кислорода в 4 раза больше массовой доли водорода, но в 1,5 раза меньше массовой доли углерода. Эту смесь обработали водой при нагревании в присутствии кислоты. После удаления избытка воды получили смесь двух органических веществ, масса которой на 3,6 г больше массы исходной смеси. Полученную смесь обработали избытком аммиачного раствора оксида серебра (I) при нагревании. Массовая доля азота в полученной смеси двух органичес-

ких веществ составила 11,83%. Смесь нагрели с избытком концентрированного раствора серной кислоты. Вычислите массы органических веществ, оставшихся после удаления всех неорганических веществ (выходы всех реакций равны 100%).

3679. В смеси двух изомеров содержится 12 г углерода, 2 г водорода и 8 г кислорода; атомов других элементов нет. Эту смесь обработали водой при нагревании в присутствии кислоты. После удаления избытка воды получили смесь двух органических веществ со средней молярной массой 54,8 г/моль. Полученную смесь нагрели с аммиачным раствором, содержащим 34,8 г оксида серебра (I). Какую массу сложного эфира можно получить из вновь образовавшейся смеси путем нагревания с концентрированным раствором серной кислоты после удаления всех неорганических веществ (выходы всех реакций равны 100%)?

3680. Смесь трех изомеров, каждый из которых имеет одну альдегидную группу, с относительной плотностью паров по метану 4,625, разделили на две равные части. Одну из них обработали сначала избытком бария, при этом выделилось 2,24 л (н. у.) газа, а затем — избытком аммиачного раствора оксида серебра (I) при нагревании, в результате чего образовалось 86,4 г осадка. Другую порцию сначала обработали избытком оксида меди (II) при нагревании, а затем — избытком аммиачного раствора оксида серебра (I) при нагревании, в результате чего образовалось 118,8 г осадка. Вычислите массовые доли веществ в исходной смеси.

3681. Смесь трех изомеров, каждый из которых имеет одну альдегидную группу, разделили на две равные части. Одну из них обработали сначала избытком кальция, при этом выделилось 1,12 л (н. у.) газа, а затем — избытком свежеприготовленного гидроксида меди (II) при нагревании, в результате чего образовалось 72 г осадка. Другую порцию сначала обработали избытком оксида меди (II) при нагревании, в результате чего образовалось 79,2 г осадка. Известно, что в 1 $см^3$ исходной смеси при 101 кПа и 150 °С содержится $1{,}9 \cdot 10^{20}$ атомов. Вычислите массовые доли веществ в исходной смеси.

3682. Смесь трех изомеров, каждый из которых имеет одну альдегидную группу, с плотностью 2,024 г/л при 167 °С и 100 кПа, разделили на две равные части. Одну из них обработали сначала избытком натрия, до прекращения выделения газа всего добавили 8,05 г натрия, после чего смесь обработали при нагревании избытком аммиачного раствора оксида серебра (I), в результате чего образовалось 86,4 г осадка. После обработки второй части избытком оксида меди (II) для окисления полученной смеси понадобилось 116 г оксида серебра в составе аммиачного раствора. Вычислите массовые доли веществ в исходной смеси.

3.19. КОМБИНИРОВАННЫЕ УПРАЖНЕНИЯ ПО НЕОРГАНИЧЕСКОЙ И ОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ

3683. Из ацетальдегида и азотной кислоты, не расходуя другие углерод- и азотсодержащие вещества, получите восемь веществ, относящихся к разным классам органических и неорганических соединений и содержащих в своем составе азот.

3684. Имеются хлорид натрия, хлорид меди (II), серная кислота и муравьиная кислота. Получите с помощью только этих веществ две соли меди органических кислот и две соли меди неорганических кислот. Выбор катализаторов и процессов неограничен.

3685. Приведите примеры органических и неорганических веществ, которые способны вступать в реакции и с бромоводородом, и с этанолом (при определенных условиях).

3686. Составьте уравнения реакций по схеме:

$$\begin{array}{l} \phantom{\text{Метиламин}} \longrightarrow \text{A} \longrightarrow \text{B} \longrightarrow \text{C} \\ \text{Метиламин} \longrightarrow \text{D} \longrightarrow \text{E} \longrightarrow \text{F} \end{array}$$

Среди соединений, обозначенных буквами, — четыре соли.

3687. Составьте уравнения реакций по схеме:

$$\begin{array}{l} \phantom{\text{X}} \longrightarrow \text{A} \longrightarrow \text{B} \longrightarrow \text{Метанол} \\ \text{X} \longrightarrow \text{C} \longrightarrow \text{D} \longrightarrow \text{Ацетат алюминия} \end{array}$$

X — сложное соединение, состоящее из атомов двух элементов. Атом одного из этих элементов входит в состав метанола, а другой — в состав ацетата алюминия.

3688. Составьте уравнения реакций по схеме:

$$\text{Метанол} \rightarrow \text{A} \rightarrow \text{B} \rightarrow \text{C} \rightarrow \text{D} \rightarrow \text{E} \rightarrow \text{Фенол}$$

Органическими веществами являются только B и D; они относятся к одному классу соединений.

3689. Составьте уравнения реакций по схеме:

$$\text{Метан} \rightarrow \text{A} \rightarrow \text{B} \rightarrow \text{C} \rightarrow \text{D} \rightarrow \text{E} \rightarrow \text{C}_2\text{N}_2$$

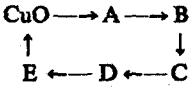
Органическими веществами являются только B и D; они относятся к одному классу соединений.

3690. Составьте уравнения реакций по схеме:

$$\begin{array}{ccccc} \text{HCl} & \longrightarrow & \text{A} & \longrightarrow & \text{B} \\ \uparrow & & & & \downarrow \\ \text{E} & \longleftarrow & \text{D} & \longleftarrow & \text{C} \end{array}$$

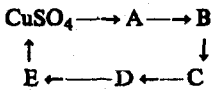
Все вещества в схеме — сложные, среди них только одно неорганическое. Органические вещества содержат по три атома углерода в молекуле.

3691. Составьте уравнения реакций по схеме:



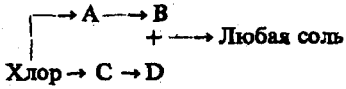
Все вещества в схеме — сложные; среди них имеются органические и неорганические.

3692. Составьте уравнения реакций по схеме:



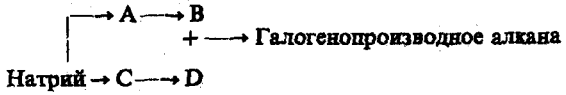
Все вещества в схеме — сложные; среди них имеются органические и неорганические.

3693. Составьте уравнения реакций по схеме:



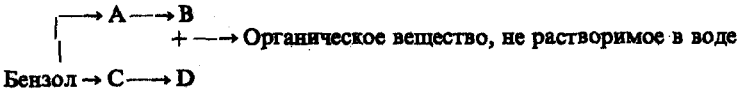
Среди веществ A, B, C, D — два неорганических.

3694. Составьте уравнения реакций по схеме:



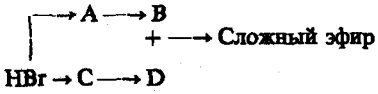
Среди веществ A, B, C, D — два неорганических.

3695. Составьте уравнения реакций по схеме:



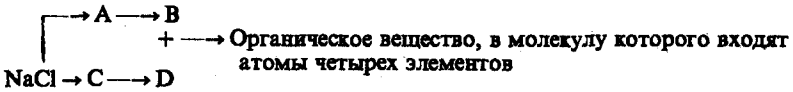
Среди веществ A, B, C, D — только два органических.

3696. Составьте уравнения реакций по схеме:



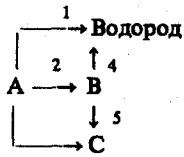
Среди веществ A, B, C, D — только одно простое.

3697. Составьте уравнения реакций по схеме:

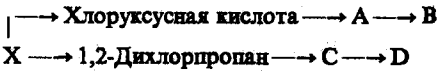


Среди веществ A, B, C, D — только одно простое.

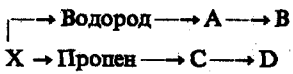
3698. Составьте уравнения реакций по схеме (вещества, обозначенные буквами, не повторяются; из них два — органические):



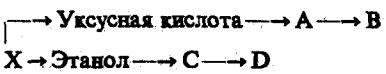
3699. Составьте уравнения реакций по схеме (X — простое вещество; среди веществ A, B, C, D — две неорганические соли и два ненасыщенных углеводорода):



3700. Составьте уравнения реакций по схеме (X — органическое соединение; среди веществ A, B, C, D — два органических и два неорганических; все относятся к разным классам):



3701. Составьте уравнения реакций по схеме (X — органическое соединение; среди веществ A, B, C, D — два простых):



РАЗДЕЛ 4

ОБРАЗЦЫ ЭКЗАМЕНАЦИОННЫХ БИЛЕТОВ В МГУ И ММА С ВАРИАНТАМИ ОТВЕТОВ

4.1. ОБРАЗЦЫ ЭКЗАМЕНАЦИОННЫХ БИЛЕТОВ В МГУ

БИЛЕТ № 1
(химический факультет)

1. Напишите структурную формулу 3,5-дихлорпиридина и уравнение реакции его полного сгорания в избытке оксида азота (IV) (1 балл).

2. Теплота сгорания пропанола-1 составляет 1887 кДж/моль, теплота сгорания пропанола-2 равна 1872 кДж/моль. Какое из соединений будет преобладать в равновесной смеси, образующейся при нагревании пропанола-2 в присутствии изомеризующего катализатора при 450 °С? Напишите уравнение процесса и ответ подтвердите расчетом (2 балла).

3. Напишите уравнения четырех реакций, с помощью которых хром в одну стадию можно превратить в хлорид хрома (III). Укажите условия проведения этих реакций (2 балла).

4. Органическое соединение А с молекулярной формулой $C_5H_6N_2$ при действии ацетилхлорида образует соединение Б состава $C_7H_9ON_2Cl$, которое при действии водного раствора гидрокарбоната калия превращается в соединение В состава $C_7H_8ON_2$. При действии избытка бромной воды соединение А образует вещество Г состава $C_5H_6N_2Br_4$, превращающееся под действием раствора гидроксида калия в вещество Д состава $C_5H_4N_2Br_2$. При каталитическом гидрировании соединения А образуется вещество Е состава $C_5H_{12}N_2$. Предложите возможные структурные

формулы веществ А — Е и напишите уравнения проведенных реакций (3 балла).

5. Какие два вещества вступили в реакцию, если при этом образовались следующие вещества (указаны все продукты реакции без коэффициентов):

а) $C_2H_5COOK + CH_3CH_2CH=O$;

б) $CH_3CH_2CH=O + KCl + CO_2$;

в) $NaNO_3 + NaBr$;

г) $Ca(HSO_3)_2 + CaCl_2$.

Напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания (4 балла).

6. Навеску тонко измельченных алюминия, цинка и серы нагрели до окончания реакции. Полученный твердый продукт полностью растворился в соляной кислоте с выделением 784 мл (н. у.) газа, пропускание которого через избыток раствора нитрата меди дало 1,92 г осадка. Напишите уравнения проведенных реакций и вычислите максимальное возможное содержание каждого из компонентов исходной смеси в процентах по массе (4 балла).

7. К 20,0 г раствора этанола в изопропилацетате добавили 60,0 мл водного раствора гидроксида калия с концентрацией 6 моль/л. Полученную смесь упарили, а сухой остаток прокалили. Массовая доля калия в полученном остатке оказалась равной 58,7%. Вычислите массовую долю спирта в исходном растворе (4 балла).

БИЛЕТ № 2
(биологический факультет)

1. Какой из дезоксирибонуклеозидов имеет наименьшее число атомов азота в молекуле? Напишите его структурную формулу (1 балл).

2. Приведите пример слабой кислоты, которая является слабым окислителем. Напишите по одному уравнению реакции, характеризующему ее кислотные и окислительные свойства (2 балла).

3. Напишите уравнения реакций получения пропионовой кислоты:

а) из альдегида;

б) с использованием магнийорганического соединения (2 балла).

4. Предложите способ получения:

а) кальция из нитрата кальция;

б) ртути из нитрата ртути;

в) железа из нитрата железа (II).

Напишите уравнения соответствующих реакций и укажите условия их проведения (3 балла).

5. Напишите уравнения реакций, соответствующие такой последовательности превращений:

$$C_8H_{10} \rightarrow C_8H_9NO_2 \rightarrow C_8H_8ClNO_2 \rightarrow C_8H_7NO_2 \rightarrow C_7H_5NO_4$$

В уравнениях укажите структурные формулы реагентов и продуктов реакций (4 балла).

6. 1,76 г сульфида металла, имеющего формулу MeS (металл проявляет в соединениях степени окисления +2 и +3), подвергли обжигу в избытке кислорода. Твердый остаток растворили в строго необходимом объеме 29,4%-й серной кислоты. Массовая доля соли в полученном растворе составляет 34,5%. При охлаждении этого раствора выпало 2,9 г кристаллогидрата, а массовая доля соли снизилась до 23,0%. Установите формулу кристаллогидрата (4 балла).

7. При гидратации двух нециклических углеводородов, содержащих одинаковое число атомов углерода, образовались монофункциональные производные — спирт и кетон — в молярном соотношении 2:1. Масса продуктов сгорания исходной смеси после пропускания через трубку с избытком сульфата меди уменьшилась на 27,27%. Установите строение исходных углеводородов, если известно, что при пропускании их смеси через аммиачный раствор оксида серебра выпадает осадок, а один из них имеет разветвленный углеродный скелет. Напишите уравнения всех реакций и укажите условия их проведения (4 балла).

БИЛЕТ № 3
(факультет фундаментальной медицины)

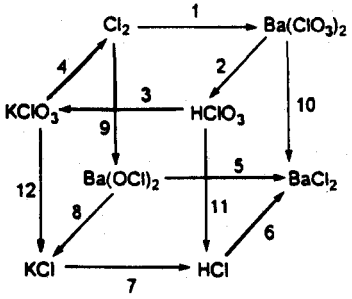
1. Напишите структурную (графическую) формулу молочнокислого (лактата) кальция и приведите два уравнения реакций, в которые может вступать это соединение (1 балл).

2. Рассчитайте концентрацию ионов водорода в растворе аммиака с концентрацией 1,5 моль/л. Константа диссоциации гидроксида аммония равна $1{,}7 \cdot 10^{-5}$ (2 балла).

3. При пропускании оксида серы (IV) через раствор перманганата калия образовался раствор, в котором массовая доля серной кислоты равна 5,0%. Вычислите массовые доли остальных продуктов реакции в полученном растворе (2 балла).

4. В водном растворе предполагается наличие ацетальдегида, уксусной кислоты и фенола. Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно однозначно установить наличие или отсутствие названных веществ в растворе. Укажите аналитические признаки реакций (3 балла).

5. Напишите уравнения реакций, соответствующие следующей схеме (каждая стрелка соответствует одной реакции) (4 балла):



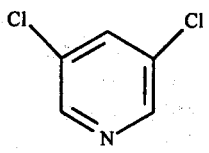
6. При полном разложении нитрата одновалентного металла масса твердого продукта составила 63,5% от исходной массы нитрата. Установите формулу нитрата (4 балла).

7. Действующим началом лекарственного препарата «Адалин» является уреид 2-бром-2-этилбутановой кислоты $(C_2H_5)_2CBr-$ $-CO-NH-CO-NH_2$. Предложите схему его получения из пентанона-3, карбамида (мочевины) и неорганических реагентов. В схеме отметьте условия проведения отдельных этапов синтеза (4 балла).

4.2. ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ НА ВОПРОСЫ БИЛЕТОВ В МГУ

БИЛЕТ № 1

1.



3,5-дихлорпиридин

$$2C_5H_3NCl_2+21NO_2=10CO_2+4HCl+N_2+H_2O+21NO$$

$$2\ |\ \overset{+4\quad +1\quad 0\quad -1}{C_5H_3NCl_2-21e^- \rightarrow 5C+3H^++N+2Cl^-}$$

$$21\ |\ \overset{+4\qquad +2}{N+2e^- \rightarrow N}$$

2. Теплота реакции изомеризации

$$CH_3CH(OH)CH_3 \leftrightarrow CH_3CH_2CH_2OH$$

равна 1872 − 1887 = −15 кДж/моль. Это означает, что в этой реакции теплота поглощается; следовательно, пропанол-1 имеет бóльшую энергию и является «энергетически менее выгодным». Поэтому в равновесной смеси будет преобладать пропанол-2.

Относительные количества двух веществ можно оценить по разнице энергий:

$$\nu(\text{пропанол-1})/\nu(\text{пропанол-2}) = \exp[-\Delta E/(RT)] = \exp[-15000/(8{,}31 \cdot 723)] = 0{,}082365.$$

Это значит, что в равновесной смеси пропанола-2 в 12 раз больше, чем его изомера.

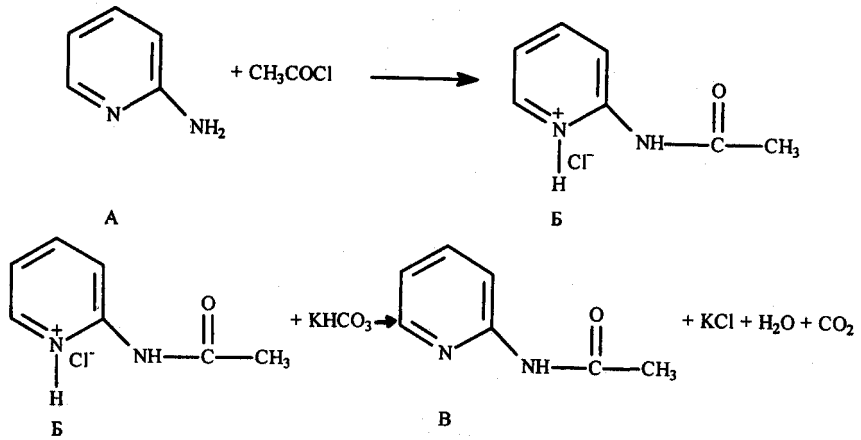
3. $2Cr + 3Cl_2 = 2CrCl_3$

$$4Cr + 12HCl + 3O_2 = 4CrCl_3 + 6H_2O$$

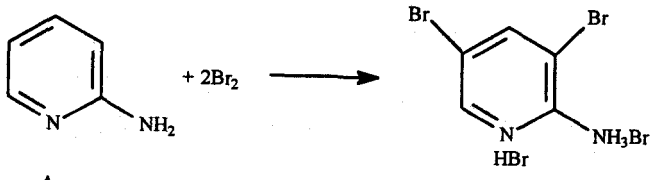
$$2Cr + 3CuCl_2 = 2CrCl_3 + 3Cu$$

$$2Cr + 3SO_2Cl_2 = 2CrCl_3 + 3SO_2$$

4. Формула вещества А $C_5H_6N_2$ отличается от формулы пиридина C_5H_5N на группу NH (т. е. вместо атома H — аминогруппа NH_2), поэтому предположим, что А — один из трех аминопиридинов, какой именно, станет ясно дальше. Проверим это предположение:

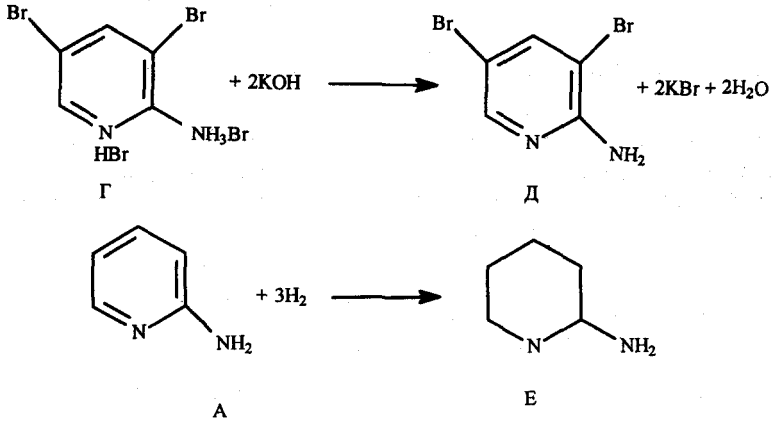


При действии бромной воды на соединение А два атома водорода (в *орто-* и *пара*-положениях по отношению к аминогруппе) замещаются на два атома брома, а образующиеся молекулы бромоводорода присоединяются к двум основным атомам азота. В результате последовательного протекания реакций замещения и присоединения к молекуле А присоединяются четыре атома брома:



А Г

Если бы аминогруппа в соединении А была в положении 3 по отношению к пиридиновому атому азота, то на бром заместилось бы три атома водорода (как в анилине). В то же время 4-аминопиридин полностью удовлетворяет условию задачи и может служить соединением А, поскольку в этом случае при бромировании замещаются два атома водорода в *орто*-положениях по отношению к аминогруппе.



Г Д

А Е

А — 2-аминопиридин или 4-аминопиридин.

5. а) $C_2H_5-CO-O-CH=CH-CH_3+KOH \rightarrow C_2H_5COOK+CH_3CH_2CH=O$

б) $CH_3CH_2CHCl_2+K_2CO_3 \rightarrow CH_3CH_2CH=O+2KCl+CO_2$

в) $NaNO_2+NaBrO=NaNO_3+NaBr$

г) $2CaSO_3+2HCl=Ca(HSO_3)_2+CaCl_2$

6. Оба металлических компонента смеси — цинк и алюминий — реагируют как с серой, так и соляной кислотой:

$$Zn+S=ZnS \quad (1)$$

$$2Al+3S=Al_2S_3 \quad (2)$$

$$Zn+2HCl=ZnCl_2+H_2\uparrow \quad (3)$$

$$2Al+6HCl=2AlCl_3+3H_2\uparrow \quad (4)$$

Сульфиды цинка и алюминия также растворимы в соляной кислоте:

$$ZnS + 2HCl = ZnCl_2 + H_2S\uparrow \quad (5)$$

$$Al_2S_3 + 6HCl = 2AlCl_3 + 3H_2S\uparrow \quad (6)$$

С раствором нитрата меди реагирует сероводород:

$$H_2S + Cu(NO_3)_2 = CuS\downarrow + 2HNO_3$$

$\nu(CuS) = 1{,}92/96 = 0{,}02$ моль, $\nu(H_2S) = \nu(CuS) = 0{,}02$ моль. Общее количество выделившегося газа (с учетом водорода) равно: ν(газов) $= 0{,}784/22{,}4 = 0{,}035$ моль, следовательно, в реакциях (3) и (4) выделилось $0{,}035 - 0{,}02 = 0{,}015$ моль водорода.

Максимальное содержание веществ находится следующим образом. Представим себе, что в смеси почти не было алюминия, а были только цинк и сера. Тогда в реакцию (3) с соляной кислотой вступило 0,015 моль цинка. В реакцию (5) вступило 0,02 моль сульфида цинка, который образовался в реакции (1) из 0,02 моль цинка и 0,02 моль серы. Таким образом, в этом случае:

$$m(Zn) = (0{,}015 + 0{,}02) \cdot 65 = 2{,}28 \text{ г}; \; m(S) = 0{,}02 \cdot 64 = 1{,}28 \text{ г};$$

$$\omega(Zn) = 2{,}28/(2{,}28 + 1{,}28) = 0{,}640 = 64{,}0\%, \; \omega(S) = 36{,}0\%.$$

Аналогичный расчет можно провести в случае, когда в смеси почти не было цинка. В реакцию (4) вступило 0,01 моль алюминия, в реакцию (6) — $0{,}02/3$ моль Al_2S_3, в реакцию (2) — $0{,}04/3$ моль алюминия и 0,02 моль серы.

$$m(Al) = (0{,}01 + 0{,}04/3) \cdot 27 = 0{,}63 \text{ г}, \; m(S) = 0{,}02 \cdot 64 = 1{,}28 \text{ г};$$

$$\omega(Al) = 0{,}63/(0{,}63 + 1{,}28) = 0{,}330 = 33{,}0\%, \; \omega(S) = 67{,}0\%.$$

Таким образом, максимальное содержание серы (%) соответствует смеси с алюминием и пренебрежимо малым количеством цинка, т. е. 64,0%Zn; 33,0%Al; 67,0%S.

7. Водный раствор гидроксида калия реагирует с изопропилацетатом, но не реагирует с этанолом:

$$\overset{x}{CH_3COOC_3H_7} + \overset{x}{KOH} \rightarrow \overset{x}{CH_3COOK} + C_3H_7OH$$

$\nu(KOH) = 0{,}06 \cdot 6 = 0{,}36$ моль — избыток, поскольку количество изопропилацетата не может превысить $20{,}0/102 = 0{,}196$ моль.

Пусть в исходном растворе $\nu(CH_3COOC_3H_7) = x$ (моль), тогда после выпаривания в смеси содержалось x (моль) CH_3COOK и $(0{,}36 - x)$ моль KOH.

При прокаливании протекает реакция

$$CH_3COOK + KOH \rightarrow CH_4\uparrow + K_2CO_3$$

Необходимо рассмотреть два случая:

1) KOH в последней реакции в избытке $(0{,}36 - x > x)$:

$$\overset{x}{CH_3COOK} + \overset{x}{KOH} \rightarrow \overset{}{CH_4\uparrow} + \overset{x}{K_2CO_3}.$$

Тогда после прокаливания в смеси останется x (моль) K_2CO_3 и $(0{,}36-2x)$ моль KOH. Массовая доля калия в смеси равна:

$$\frac{2x\cdot 39+(0{,}36-2x)\cdot 39}{x\cdot 138+(0{,}36-2x)\cdot 56}=0{,}587,$$

откуда $x=0{,}145$ моль. Массовая доля изопропилацетата в исходном растворе равна $0{,}145\cdot 102/20=0{,}739$, а массовая доля спирта составляет: $\omega(CH_3CH_2OH)=1-0{,}739=0{,}261$.

2) KOH в последней реакции в недостатке $(0{,}36-x<x)$:

$$\overset{0{,}36-x}{CH_3COOK} + \overset{0{,}36-x}{KOH} \rightarrow \overset{}{CH_4\uparrow} + \overset{0{,}36-x}{K_2CO_3}$$

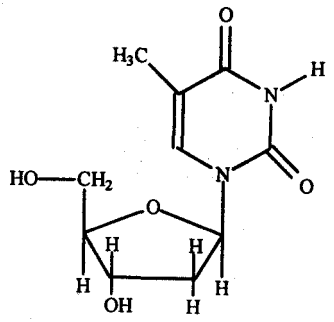
Тогда после прокаливания в смеси останется $(0{,}36-x)$ моль K_2CO_3 и $(2x-0{,}36)$ моль CH_3COOK. Массовая доля калия в смеси равна:

$$\frac{2\cdot(0{,}36-x)\cdot 39+(2x-0{,}36)\cdot 39}{(0{,}36-x)\cdot 138+(2x-0{,}36)\cdot 98}=0{,}593,$$

откуда $x=0{,}164$ моль, что противоречит условию недостатка KOH. Этот вариант отпадает; $\omega(CH_3CH_2OH)=0{,}261$.

БИЛЕТ № 2

1.



2. В качестве примера можно выбрать уксусную кислоту.

Кислотные свойства: $CH_3COOH+NaOH=CH_3COONa+H_2O$.

Окислительные свойства: $2CH_3COOH+Mg=(CH_3COO)_2Mg+H_2\uparrow$

3. а) $5C_2H_5CHO+2KMnO_4+3H_2SO_4=5C_2H_5COOH+K_2SO_4+2MnSO_4+3H_2O$

б) $C_2H_5MgBr+CO_2+H_2O\rightarrow C_2H_5COOH+Mg(OH)Br$.

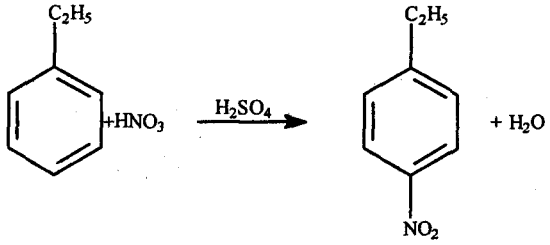
4. а) $2Ca(NO_3)_2 \xrightarrow{t} 2CaO + 4NO_2\uparrow + O_2\uparrow$

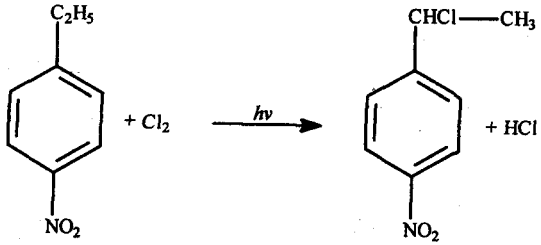
$CaO + 2HCl = CaCl_2 + H_2O \quad CaCl_2 = Ca + Cl_2$ (электролиз)

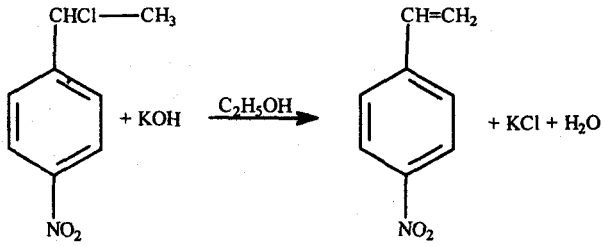
б) $Hg(NO_3)_2 \xrightarrow{t} Hg + 2NO_2\uparrow + O_2\uparrow$

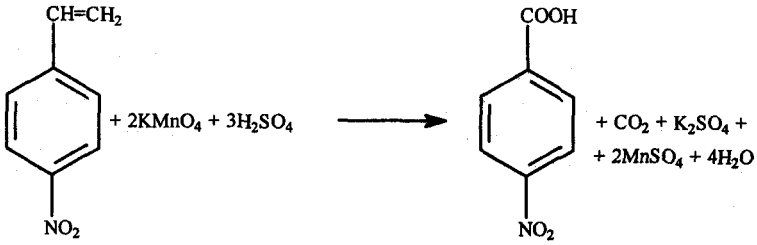
в) $4Fe(NO_3)_2 \xrightarrow{t} 2Fe_2O_3 + 8NO_2\uparrow + O_2\uparrow \quad Fe_2O_3 + 3C \xrightarrow{t} 2Fe + 3CO$

5.









6. Пусть атомная масса неизвестного металла равна x (г/моль), тогда количество вещества сульфида равно $\nu(MeS) = 1{,}76/(x+32)$. Для краткости обозначим это количество через b. В результате

обжига b моль сульфида MeS в избытке кислорода по уравнению

$$\overset{b}{4MeS} + 7O_2 = \overset{b/2}{2Me_2O_3} + 4SO_2$$

образовалось $b/2$ моль оксида Me_2O_3, для растворения которых по уравнению

$$\overset{b/2}{Me_2O_3} + \overset{3b/2}{3H_2SO_4} = \overset{b/2}{Me_2(SO_4)_3} + 3H_2O$$

потребовалось $3b/2$ моль H_2SO_4. Масса 29,4%-го раствора H_2SO_4 составляет $(3b/2) \cdot 98/0{,}294 = 500b$ г. Общая масса раствора равна:

$$m(\text{р-ра}) = m(Me_2O_3) + m(\text{р-ра } H_2SO_4) =$$
$$= b/2 \cdot (2x + 48) + 500b = (x + 524)b.$$

Масса соли в растворе равна:

$$m(Me_2(SO_4)_3) = b/2 \cdot (2x + 288) = (x + 144)b.$$

По условию, массовая доля $Me_2(SO_4)_3$ составляет 34,5%:

$$(x + 144)b = 0{,}345 \cdot (x + 524)b;$$

откуда $x = 56$ ($b = 0{,}02$). Исходный сульфид — FeS, в растворе содержится $Fe_2(SO_4)_3$ массой $(x + 144)b = 200 \cdot 0{,}02 = 4{,}0$ г. Исходная масса раствора (до охлаждения) равна $(x + 524)b = 580 \cdot 0{,}02 = 11{,}6$ г.

При охлаждении этого раствора выпало 2,9 г кристаллогидрата, следовательно, общая масса раствора стала равна $11{,}6 - 2{,}9 = 8{,}7$ г. Масса $Fe_2(SO_4)_3$ в оставшемся растворе равна $8{,}7 \cdot 0{,}23 = 2{,}0$ г; в выпавших кристаллах содержится $4{,}0 - 2{,}0 = 2{,}0$ г $Fe_2(SO_4)_3$, что соответствует $2{,}0/400 = 0{,}005$ моль. Масса воды в кристаллах равна $2{,}9 - 2{,}0 = 0{,}9$ г, что соответствует $0{,}9/18 = 0{,}05$ моль. Количество воды в кристаллах в 10 раз превосходит количество соли, следовательно, формула кристаллогидрата — $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 10H_2O$.

7. Естественная переменная для этой задачи — число атомов углерода n. Как следует из продуктов гидратации, в состав исходной смеси входили алкен C_nH_{2n} и алкин C_nH_{2n-2}, причем алкена было в два раза больше: $\nu(C_nH_{2n}) = 2\nu(C_nH_{2n-2})$. Запишем уравнения гидратации в молекулярном виде:

$$C_nH_{2n} + H_2O = C_nH_{2n+1}OH$$
$$C_nH_{2n-2} + H_2O = C_nH_{2n}O$$

Возьмем два моль алкена и один моль алкина. В результате сгорания этой смеси по уравнениям

$$\overset{2}{C_nH_{2n}} + 3n/2O_2 = \overset{2n}{n}CO_2 + \overset{2n}{n}H_2O$$

$$\overset{1}{C_nH_{2n-2}} + (3n-1)/2O_2 = \overset{n}{n}CO_2 + \overset{n-1}{(n-1)}H_2O$$

образуются углекислый газ в количестве $\nu(CO_2) = 2n + n = 3n$ и вода в количестве $\nu(H_2O) = 2n + (n-1) = 3n - 1$. Общая масса продуктов сгорания равна

$$m(\text{прод}) = m(CO_2) + m(H_2O) = 3n \cdot 44 + (3n-1) \cdot 18 = 186n - 18 \text{ г}.$$

Пары воды поглощаются сульфатом меди:

$$CuSO_4 + 5H_2O = CuSO_4 \cdot 5H_2O$$

По условию масса воды равна 27,27% от массы исходной смеси:

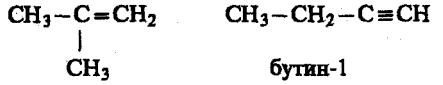
$$(3n-1) \cdot 18 = 0{,}2727 \cdot (186n - 18),$$

откуда $n = 4$.

Единственный алкин состава C_4H_6, который дает осадок с $[Ag(NH_3)_2]OH$,— бутин-1:

$$CH_3-CH_2-C\equiv CH + [Ag(NH_3)_2]OH \rightarrow CH_3-CH_2-C\equiv Ag + 2NH_3 + H_2O$$

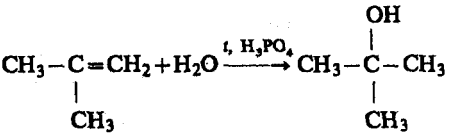
Этот углеводород имеет неразветвленный углеродный скелет, следовательно, у алкена — разветвленный скелет. Существует единственный алкен состава C_4H_4 с разветвленным скелетом — 2-метилпропен:

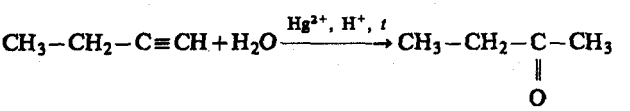


2-метилпропен

бутин-1

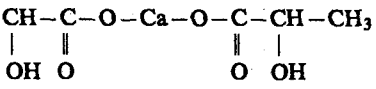
Уравнения реакций гидратации:





БИЛЕТ № 3

1.



$$(CH_3CH(OH)COO)_2Ca + K_2CO_3 = CaCO_3\downarrow + 2CH_3CH(OH)COOK$$

$$(CH_3CH(OH)COO)_2Ca + 2HCl = CaCl_2 + 2CH_3CH(OH)COOH$$

2. В водном растворе аммиака устанавливается равновесие:

$$NH_3 + H_2O \rightleftarrows NH_4^+ + OH^-$$

Константа этого равновесия имеет вид:

$$K = \frac{[NH_4^+][OH^-]}{[NH_3]} = 1{,}7 \cdot 10^{-5}.$$

Пусть равновесная концентрация $[OH^-] = x$ (моль/л), тогда $[NH_4^+] = x$, $[NH_3] = 1{,}5 - x$. Подставляя эти значения в выражение для константы равновесия и решая квадратное уравнение, находим: $x = 5{,}0 \cdot 10^{-3}$. Концентрацию ионов водорода можно найти через константу воды:

$$[H^+] = K_w/[OH^-] = 1{,}0 \cdot 10^{-14}/5{,}0 \cdot 10^{-3} = 2{,}0 \cdot 10^{-12} \text{ моль/л}.$$

3. Уравнение реакции

$$5SO_2 + 2KMnO_4 + 2H_2O = K_2SO_4 + 2MnSO_4 + 2H_2SO_4$$

Согласно этому уравнению, на 2 моль H_2SO_4 (масса $2 \cdot 98 = 196$ г) образуется 1 моль K_2SO_4 (масса 174 г) и 2 моль $MnSO_4$ (масса $2 \cdot 151 = 302$ г). Поскольку все эти вещества находятся в одном растворе, то отношение их массовых долей равно отношению масс:

$$\omega(K_2SO_4)/\omega(H_2SO_4) = m(K_2SO_4)/m(H_2SO_4) = 174/196,$$

откуда $\omega(K_2SO_4) = 0{,}050 \cdot 174/196 = 0{,}044$, или 4,4%. Аналогично,

$$\omega(MnSO_4) = 0{,}050 \cdot 302/196 = 0{,}077, \text{ или } 7{,}7\%.$$

4. 1. Наличие ацетальдегида можно доказать реакцией с избытком аммиачного раствора оксида серебра:

$$CH_3CHO + 2[Ag(NH_3)_2OH] = 2Ag\downarrow + CH_3COONH_4 + 3NH_3 + H_2O$$

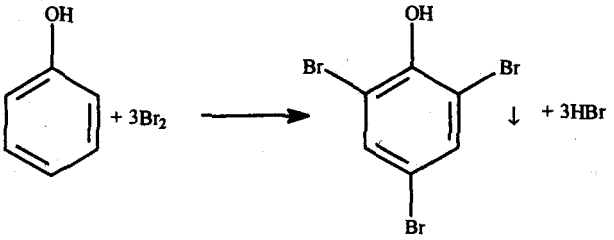
Избыток реактива берется потому, что уксусная кислота также реагирует с $[Ag(NH_3)_2OH]$, правда, без выделения осадка:

$$3CH_3COOH + [Ag(NH_3)_2OH] = CH_3COOAg + 2CH_3COONH_4 + H_2O$$

2. Качественная реакция на уксусную кислоту — выделение газа при действии гидрокарбоната натрия:

$$CH_3COOH + NaHCO_3 = CH_3COONa + CO_2\uparrow + H_2O$$

3. Фенол дает белый осадок при обработке бромной водой:



5. 1) $6Ba(OH)_2 + 6Cl_2 \xrightarrow{t} 5BaCl_2 + Ba(ClO_3)_2 + 6H_2O$

2) $Ba(ClO_3)_2 + H_2SO_4 = BaSO_4\downarrow + 2HClO_3$

3) $HClO_3 + KOH = KClO_3 + H_2O$

4) $KClO_3 + 6HCl = KCl + 3Cl_2\uparrow + 3H_2O$

5) $Ba(OCl)_2 + 2KNO_2 = BaCl_2 + 2KNO_3$

6) $2HCl + Ba(OH)_2 = BaCl_2 + 2H_2O$

7) $KCl\ (т) + H_2SO_4\ (конц) = KHSO_4 + HCl\uparrow$

8) $Ba(OCl)_2 + 2K_2SO_3 = BaSO_4\downarrow + K_2SO_4 + 2KCl$

9) $2Ba(OH)_2 + 2Cl_2 = BaCl_2 + Ba(OCl)_2 + 2H_2O$

10) $Ba(ClO_3)_2 \xrightarrow{t} BaCl_2 + 3O_2\uparrow$

11) $4HClO_3 + 3H_2S = 4HCl + 3H_2SO_4$

12) $2KClO_3 \xrightarrow{t} 2KCl + 3O_2\uparrow$

6. Одновалентный металл — это либо щелочной металл, либо серебро. В случае щелочных металлов (кроме лития) реакция разложения описывается уравнением:

$$2MeNO_3 = 2MeNO_2 + O_2\uparrow$$

Отношение масс твердого продукта и исходного нитрата равно (x — атомная масса металла):

$$(x+46)/(x+62) = 0{,}635,$$

откуда $x = -18{,}2$ г/моль, что не имеет смысла.

Нитрат серебра разлагается по уравнению:

$$2AgNO_3 = 2Ag + 2NO_2\uparrow + O_2\uparrow$$

В этом случае отношение масс твердого продукта и исходного нитрата равно $108/170 = 0{,}635$, что удовлетворяет условию задачи. Формула нитрата $AgNO_3$.

7. Эту задачу удобно решать методом ретросинтеза, т. е. с конца. Уреид 2-бром-2-этилбутановой кислоты $(C_2H_5)_2CBr-CO-NH-CO-NH_2$ можно получить ацилированием мочевины $(NH_2)_2CO$ по схеме:

$$(C_2H_5)_2CBr-CO-NH-CO-NH_2 \xleftarrow{-HCl} (C_2H_5)_2CBr-CO-Cl + NH_2-CO-NH_2$$

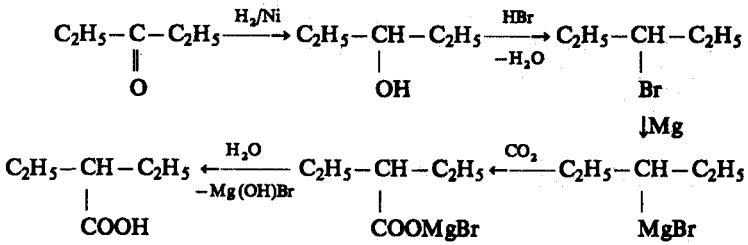
Хлорангидрид $(C_2H_5)_2CBr-CO-Cl$ образуется из соответствующей кислоты:

$$(C_2H_5)_2CBr-CO-Cl \xleftarrow{-POCl_3} (C_2H_5)_2CBr-CO-OH + PCl_5$$

α-Бромзамещенная кислота $(C_2H_5)_2CBr-COOH$ получается при бромировании 2-этилбутановой кислоты в присутствии катализатора — красного фосфора:

$$(C_2H_5)_2CBr-COOH \xleftarrow{-HBr} (C_2H_5)_2CH-COOH + Br_2$$

Осталось получить 2-этилбутановую кислоту из пентанона-3. Это можно сделать по следующей схеме:



4.3. ОБРАЗЦЫ ЭКЗАМЕНАЦИОННЫХ БИЛЕТОВ В МОСКОВСКУЮ МЕДИЦИНСКУЮ АКАДЕМИЮ

БИЛЕТ № 4

1. Приведите пример образования водородной связи. (1 балл).

2. Приведите пример реакции, протекающей по ионному механизму, с участием углеводорода. (1 балл).

3. Приведите структурные формулы всех гетероциклических соединений состава C_5H_7N, имеющих в цикле не менее 5 атомов. (2 балла).

4. Имеются вода и бром. Выберите только две соли и получите с использованием четырех веществ, а также продуктов их взаимодействия, не прибегая к электролизу, следующие вещества: бромид кальция, иод, кислород, бромид серебра, иодид серебра. (2 балла).

5. Кристаллогидрат фосфата натрия массой 380 г растворили в 1,35 л воды. Плотность получившегося раствора оказалась равной 1,098 г/мл, а молярная концентрация иона натрия в нем 1,90 моль/л. Установите состав кристаллогидрата. (2 балла).

6. Для полного сгорания жира потребовалось 1,51 моль кислорода, при этом образовалось 1,02 моль воды и 1,06 моль углекислого газа. Вычислите относительную молекулярную массу жира. (3 балла).

7. Соединения A и B имеют общую молекулярную формулу $C_nH_{2n}O_n$; общее число атомов в них различается в 3 раза. Оба соединения реагируют с гидроксидом меди (II) на холоду; одно из них в реакции с аммиачным раствором оксида серебра образует осадок, а другое — нет. Предложите возможные структуры A и B. С каким еще веществом будут реагировать и A и B? Приведите уравнения всех реакций. (3 балла).

8. Составьте уравнения трех окислительно-восстановительных реакций по схеме: $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$. Среди веществ, обозначенных буквами, силицид магния, кремний, дихромат калия, оксид кремния (IV). (3 балла).

9. Из 1-хлорпропана, дихромата аммония, серной кислоты и гидроксида натрия, не расходуя никаких других соединений, получите монохлорацетат хрома (III). (3 балла).

10. Насыщенный раствор гидрокарбоната натрия (растворимость 6,90 г в 100 г воды) массой 150 г нагрели до 100 °С. После охлаждения раствор разделили на две части, причем масса одной части оказалась в 9 раз больше массы другой части. К меньшей части раствора добавили избыток соляной кислоты, при этом выделилось 182 мл газа. Через большую часть раствора пропустили 2,24 л оксида серы (IV). Вычислите количества веществ в новом растворе большей массы (н. у.). (5 баллов).

БИЛЕТ № 5

1. Приведите пример неорганического соединения, в котором имеется sp^2-гибридизация электронных орбиталей одного из атомов. (1 балл).

2. Перечислите известные вам виды изомерии (не приводя примеров). (1 балл).

3. При щелочном гидролизе смеси двух изомерных сложных эфиров образовалось только три вещества. Приведите структурные формулы этих сложных эфиров с минимально возможным числом атомов углерода. (2 балла).

4. Имеются вода и хлор. Выберите только две соли и получите с использованием 4 веществ, а также продуктов их взаимодействия, не прибегая к электролизу, следующие вещества: бромид натрия, хлорид натрия, бром, хлорид цинка, оксид цинка. (2 балла).

5. Растворимость аммиака равна при 0 °С 1300 объемов в 1 объеме воды, а при 30 °С 595 объемов в 1 объеме воды. Вычислите, как изменится масса 250 г насыщенного при 0 °С раствора при его нагревании до 30 °С (испарением воды пренебречь, давление 101 кПа). (2 балла).

6. К 175 мл раствора гидрофосфата калия ($c = 0{,}125$ моль/л) добавили 0,595 г олеума, при этом массовые доли кислых солей фосфорной кислоты в полученном растворе сравнялись. Вычислите массовую долю оксида серы (VI) в добавленном олеуме. (3 балла).

7. Составьте уравнения реакций (с использованием структурных формул) по схеме: $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$. Буквами обозначены вещества, имеющие состав $C_2H_4O_2$; $C_5H_{10}O_5$; $C_7H_{12}O_6$; $C_8H_{14}O_7$. Укажите условия протекания реакций. (3 балла).

8. Выберите несколько простых веществ. Используя только эти вещества, а также продукты их взаимодействия, получите с помощью только окислительно-восстановительных реакций сульфат железа (III). (3 балла).

9. Выберите только одно органическое соединение, не содержащее азот, и получите из него, расходуя только неорганические вещества, глицилаланин. (3 балла).

10. Смесь предельного диамина и алкина, содержащих в молекулах одинаковое число атомов водорода, имеет в парах плотность по воздуху, равную 2,138. Какую массу 3%-й бромной воды может обесцветить такая смесь массой 5 г? (5 баллов).

БИЛЕТ № 6

1. Приведите пример изотопов, различающихся по массе в 2 раза.

2. Как классифицируются моносахариды по числу углеродных атомов и по характеру функциональных групп? Приведите пример углевода, состав которого не отвечает формуле $C_n(H_2O)_m$.

3. В трех пробирках находятся гидроксид магния, гидроксид натрия и оксид цинка. Как, используя только воду, можно рас-

познать, где какое соединение находится? Ответ сопроводите уравнениями реакций.

4. Как можно химическим путем разделить смесь этаналя и пропанола-2? Опишите необходимые процедуры и приведите при необходимости уравнения реакций.

5. Имеются две газообразные смеси двух аминов, относящихся к одному гомологическому ряду. Объемная доля одного амина в первой смеси равна объемной доле другого амина во второй смеси. Плотности этих смесей при нормальном давлении и температуре 200 °С равны 0,940 и 2,09 г/л. Установите состав обоих аминов и для амина с большей молярной массой напишите структурные формулы всех первичных аминов, имеющих хотя бы один вторичный атом углерода.

6. Сложный эфир $C_5H_{10}O_2$ нагрели с водным раствором гидроксида калия. Масса образовавшейся соли оказалась в 4,94 раза больше массы не вступившего в реакцию эфира, а масса спирта — в 2,03 раза больше массы не вступившего в реакцию эфира. Вычислите выход реакции гидролиза.

7. Составьте уравнения реакций, протекающих без изменения степеней окисления элементов, по схеме:

Кислая соль A→Вещество B→Вещество C→Средняя соль D.

Соли A и D имеют общий катион, но элементы, образующие анионы, в солях A и D не повторяются. Выберите самостоятельно вещество A, а в качестве реактивов обязательно используйте три вещества из набора: гидроксид калия, гидроксид кальция, гидроксид магния, хлорид аммония, сульфат аммония. Можно использовать воду как растворитель.

8. Органическое вещество A можно получить в одну стадию либо нагреванием в подкисленном растворе соединения B, либо действием свежеприготовленного гидроксида меди (II) при небольшом нагревании на соединение C. Вещество A реагирует с алюминием в водном растворе щелочи. Приведите одну из возможных структур A с минимально возможным числом атомов углерода и напишите уравнения упомянутых реакций.

9. Напишите уравнение реакции, в которую вступают иодоводород и концентрированная серная кислота, в ходе которой образуются сера и сероводород в молярном соотношении 2 : 1.

10. К 400 г 10,6%-го раствора карбоната натрия сначала добавили осторожно 6,6%-й раствор азотной кислоты, а потом пропустили оксид азота (IV). В образовавшемся растворе количество вещества гидрокарбонат-ионов составило 0,4 моль, а сум-

марная масса всех солей — 65,2 г. Вычислите массовые доли солей в надосадочной жидкости после добавления к этому раствору 41,7 г гидрида бария.

БИЛЕТ № 7

1. Ион X^{2+} имеет электронную конфигурацию $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5$. Определите число протонов и нейтронов в ядре атома элемента X, имея в виду, что этот элемент является изотопно-чистым, т. е. представлен в природе только одним изотопом.

2. Какой углевод входит в состав ДНК? Приведите структурные формулы этого углевода в открытой и циклической формах.

3. В трех пробирках находятся хлорид аммония, хлорид натрия и хлорид серебра. Как, используя только воду, можно распознать, где какое соединение находится? Ответ сопроводите уравнениями реакций.

4. Как можно химическим путем разделить смесь диэтилового эфира и диэтиламина? Опишите необходимые процедуры и приведите при необходимости уравнения реакций.

5. В смеси двух бромпроизводных бутана, различающихся на один атом брома, число электронов в 11,5 раза больше числа атомов. Установите состав соединений, рассчитайте их массовые доли. Для того вещества, массовая доля которого меньше, приведите формулы всех структурных изомеров, содержащих три первичных атома углерода.

6. Кислород смешали с оксидом азота (II), в полученной смеси газов атомов азота оказалось на 45% меньше атомов кислорода. Полученную смесь газов пропустили через избыток насыщенного раствора гидроксида калия, при этом 56 мл газа (н. у.) остались не поглощенными. Вычислите массу взятого кислорода.

7. Составьте уравнения реакций, протекающих без изменения степеней окисления элементов, по схеме:

Амфотерный оксид A → Вещество B →

→ Вещество C → Кислотный оксид D.

Выберите самостоятельно вещество A, а в качестве реактивов обязательно используйте два вещества из набора: нитрат алюминия, серная кислота, хлорид бария, карбонат натрия, сульфид калия. Часть реакций может протекать в водной среде.

8. Органическое вещество A можно получить в одну стадию либо взаимодействием соединения B с гидроксидом калия, либо взаимодействием соединения C с магнием. Соединения B и C способны реагировать с бромом в темноте в присутствии катализа-

тора. Приведите структуру А с минимально возможным числом атомов углерода. Напишите уравнения упомянутых реакций.

9. Напишите уравнение реакции между перманганатом калия и сульфитом калия в щелочном растворе, в ходе которой образуются манганат калия и оксид марганца (IV) в молярном соотношении 1 : 2.

10. Имеются два сложных эфира, молекулы которых состоят из атомов только трех элементов, а относительные молекулярные массы различаются на 14 единиц. Смесь этих эфиров со средней молярной массой 98,4 г/моль обработали избытком раствора гидроксида натрия на холоду, всего в реакцию вступило 0,3 моль щелочи. Выделенную смесь органических соединений обработали последовательно избытком натрия, при этом выделилось 0,1 моль газа, а затем избытком раствора гидроксида натрия при нагревании, в результате чего образовалось три органических вещества. Суммарная масса двух натрийсодержащих соединений и масса вещества, не содержащего натрий, различаются более чем в 7 раз. Установите строение исходных эфиров и вычислите их массы.

БИЛЕТ № 8

1. Чем отличаются друг от друга аллотропные модификации фосфора? В каких условиях осуществляется переход из одной модификации в другую?

2. Какой углевод входит в состав ДНК? Приведите структурные формулы этого углевода в открытой и циклической формах.

3. Составьте уравнения реакций, протекающих без изменения степеней окисления элементов, по схеме: $FeCl_2 \rightarrow X \rightarrow FeCl_3$.

4. Приведите структурные формулы двух ближайших гомологов простых эфиров, содержащих в молекулах по два первичных атома углерода.

5. В смеси гидрата дигидрофосфата кальция и дигидрата гидрофосфата натрия на долю атомов водорода (по числу) приходится 34,1%. Вычислите массовую долю воды в этой смеси.

6. При обработке целлюлозы уксусным ангидридом в присутствии серной кислоты и уксусной кислоты суммарная масса выделенных после реакции высокомолекулярных продуктов оказалась на 60% больше массы исходной целлюлозы. Вычислите отношение числа этерифицированных и неэтерифицированных гидроксильных групп в полученной смеси веществ.

7. Приведите пример окислительно-восстановительной реакции между двумя газами, в ходе которой образуется соль.

8. Органическое вещество А можно получить в одну стадию либо взаимодействием соединения В с гидроксидом калия, либо

взаимодействием соединения С с магнием. Соединения В и С способны реагировать с бромом в темноте в присутствии катализатора. Приведите структуру А с минимально возможным числом атомов углерода. Напишите уравнения упомянутых реакций.

9. Из приведенных формул $C_7H_{12}O_3$, $C_7H_{16}O_4$, $C_{10}H_{15}Cl_3$, C_7H_7Cl выберите не более двух. Используя из углеродсодержащих веществ только те, состав которых отвечает выбранным формулам, получите не более чем в три стадии вещество, имеющее состав $C_{10}H_{10}O_3$.

10. К 15%-му раствору бромида железа (III) добавили порошок меди. После окончания реакции непрореагировавшую медь отделили, а через раствор пропустили сероводород до прекращения выделения осадка. После того как осадок отфильтровали, в раствор поместили цинковую пластинку. По окончании реакций пластинку взвесили, ее масса отличалась от исходной на 1,245 г. Вычислите массу исходного раствора бромида железа (III).

БИЛЕТ № 9

1. В каких условиях образуется в природе озон? Как его можно получить в лаборатории? Приведите уравнение реакции.

2. Приведите примеры конденсированных и неконденсированных гетероциклов, лежащих в основе строения природных соединений.

3. Составьте уравнения реакций, протекающих без изменения степеней окисления элементов, по схеме: $NaHSO_4 \rightarrow X \rightarrow NaHCO_3$.

4. Приведите структурную формулу природного соединения, содержащего в молекуле 5 атомов углерода, из которых один — третичный, причем электронные орбитали его находятся в sp^2-гибридизации.

5. К нитрату серебра добавили нитрат металла IIA группы, в результате чего массовая доля нитрат-иона увеличилась в 2,5 раза. Вычислите молярное соотношение металлов в полученной смеси солей.

6. При прокаливании нитрата бария масса твердого остатка составила 71,1% от массы исходной соли. Вычислите массовые доли оксида бария и нитрита бария в полученной смеси веществ.

7. Приведите пример реакции электролиза водного раствора соли, в ходе которого образуется вещество, являющееся окислителем по отношению к металлам и восстановителем по отношению к неметаллам.

8. Органическое вещество А можно получить в одну стадию либо из одного из углеводов, либо из одного из алканов. Приве-

дите одну из возможных структур А. Напишите уравнения упомянутых реакций, а также уравнение реакции А с магнием.

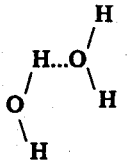
9. Из приведенных формул $C_7H_{14}Cl_2$, $C_2H_3ClO_2$, C_2H_4O, $C_5H_8Cl_2$ выберите не более двух. Используя из углеродсодержащих веществ только те, состав которых отвечает выбранным формулам, получите не более чем в три стадии вещество, имеющее состав $C_7H_{11}ClO_2$.

10. Порция вещества А, не реагирующего с бромной водой и не имеющего третичных атомов углерода, имеет состав: 1,05 моль углерода, 0,15 моль азота, 0,45 моль брома, а также водород. При нагревании этого вещества с избытком раствора гидроксида бария получили вещество В, содержащее 0,3 моль кислорода. Относительная плотность паров В по иодметану меньше 1. Вещество В обработали при нагревании избытком раствора перманганата калия, подкисленного серной кислотой. В реакцию вступило 0,24 моль перманганата калия, при этом образовалось 39,75 г вещества С, в котором массовая доля углерода составляет 31,7%. Установите строение вещества С и вычислите массу вступившего в реакцию гидроксида бария.

4.4. ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ НА ВОПРОСЫ БИЛЕТОВ В МОСКОВСКУЮ МЕДИЦИНСКУЮ АКАДЕМИЮ

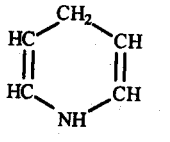
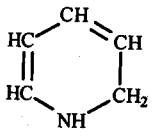
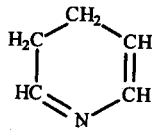
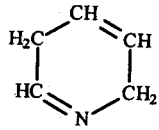
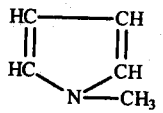
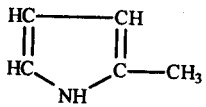
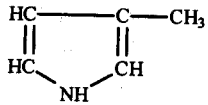
БИЛЕТ № 4

1.



2. $CH_2=CH_2+HI \rightarrow CH_3-CH_2I$

3.

4. Вариант ответа: выбираем соли CaI_2 и $AgNO_3$

$$CaI_2 + 2AgNO_3 \rightarrow 2AgI\downarrow + Ca(NO_3)_2$$

$$CaI_2 + Br_2 \rightarrow CaBr_2 + I_2$$

$$2AgNO_3 + CaBr_2 \rightarrow Ca(NO_3)_2 + 2AgBr\downarrow$$

$$2AgNO_3 \xrightarrow{t} 2Ag + 2NO_2\uparrow + O_2\uparrow$$

5. m(раствора)$_{итог} = 380 + 1350 = 1730$ г;

V(раствора)$_{итог} = 1730 : 1{,}098 = 1576$ мл $= 1{,}576$ л;

$\nu(Na^+) = 1{,}90 \cdot 1{,}576 = 2{,}994$ моль;

$\nu(Na_3PO_4 \cdot nH_2O) = {}^1/_3 \cdot \nu(Na^+) = 2{,}994 : 3 = 1{,}0$ моль;

$M(Na_3PO_4 \cdot nH_2O) = 380 : 1{,}0 = 380$ г/моль; $n = (380 - 164) : 18 = 12$. Формула кристалогидрата $Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$.

6. ν(O в CO_2) $= 2 \cdot 1{,}06 = 2{,}12$ моль;

ν(O в H_2O) $= 1{,}02$ моль;

ν(O в жире) $= 3{,}14 - 2 \cdot 1{,}51 = 0{,}12$ моль;

ν(жир) $= 0{,}12 : 6 = 0{,}02$ моль; m(C в жире) $= 12 \cdot 1{,}06 = 12{,}72$ г;

m(H в жире) $= 2 \cdot 1{,}02 = 2{,}04$ г; m(O в жире) $= 16 \cdot 0{,}12 = 1{,}92$ г;

m(жир) $= 12{,}72 + 2{,}04 + 1{,}92$ г $= 16{,}68$ г;

M(жир) $= 16{,}68 : 0{,}02 = 834$ г/моль; M_r (жир) $= 834$.

7. А — уксусная кислота — CH_3COOH; В — глюкоза $C_6H_{12}O_6$.

$$2CH_3COOH + Cu(OH)_2 \rightarrow Cu(CH_3COO)_2 + 2H_2O$$

$$3CH_3COOH + [Ag(NH_3)_2OH] \rightarrow AgCH_3COO + 2NH_4CH_3COO + H_2O$$

$$C_6H_{12}O_6 + Cu(OH)_2 \rightarrow \text{Комплексное соединение синего цвета}$$

$$C_6H_{12}O_6 + 2[Ag(NH_3)_2]OH \rightarrow Ag_2O\downarrow + \text{Продукты окисления}$$

Оба вещества будут реагировать, например, с натрием:

$$2CH_3COOH + 2Na \rightarrow 2CH_3COONa + H_2\uparrow$$

$$2CH_2(OH)-CH(OH)-CH(OH)-CH(OH)-CH(OH)-C(H)=O + 10Na \rightarrow$$

$$\rightarrow 2CH_2(ONa)-CH(ONa)-CH(ONa)-CH(ONa)-CH(ONa)-C(H)=O + 5H_2\uparrow$$

8. Вариант ответа. Расположим вещества в такую последовательность: $K_2Cr_2O_7 \rightarrow SiO_2 \rightarrow Si \rightarrow Mg_2Si$

1) $4K_2Cr_2O_7 + 3SiH_4 + 16H_2SO_4 \rightarrow 4Cr_2(SO_4)_3 + 3SiO_2\downarrow + 4K_2SO_4 + 22H_2O$

2) $SiO_2 + 2Mg \xrightarrow{t} 2MgO + Si$

3) $Si + 2Mg \xrightarrow{t} Mg_2Si$

9. Рассмотрим вариант синтеза, включающий шесть стадий:

1) $CH_3-CH_2-CH_2Cl + NaOH\ (водн) \rightarrow CH_3-CH_2-CH_2OH + NaCl$

2) $3CH_3-CH_2-CH_2OH + 2(NH_4)_2Cr_2O_7 + 8H_2SO_4 \xrightarrow{t}$

$$\rightarrow 3CH_3-CH_2-COOH + 2(NH_4)_2SO_4 + 2Cr_2(SO_4)_3 + 11H_2O$$

$$\begin{array}{l} \overset{+6}{Cr} + 3e^- \rightarrow \overset{+3}{Cr} \quad \Big| 4 \\ спирт - 4e^- \rightarrow кислота \quad \Big| 3 \end{array}$$

3) $6NaCl + (NH_4)_2Cr_2O_7 + 7H_2SO_4 \xrightarrow{t}$

$$\rightarrow 3Cl_2\uparrow + Cr_2(SO_4)_3 + (NH_4)_2SO_4 + 3Na_2SO_4 + 7H_2O$$

$$\begin{array}{l} \overset{+6}{Cr} + 3e^- \rightarrow \overset{+3}{Cr} \quad \Big| 1 \quad \Big| 2 \\ \overset{-1}{Cl} - e^- \rightarrow \overset{0}{Cl} \quad \Big| 3 \quad \Big| 6 \end{array}$$

4) $CH_3-CH_2-COOH + Cl_2 \xrightarrow{P\ (красный)} CH_3-CHCl-COOH + HCl$

5) $Cr_2(SO_4)_3 + 6NaOH \rightarrow 2Cr(OH)_3\downarrow + 3Na_2SO_4$

6) $3CH_3-CHCl-COOH + Cr(OH)_3 \rightarrow Cr(CH_3-CHCl-COO)_3 + 3H_2O$

10. $\omega(NaHCO_3)_{нас} = 6{,}9 : 106{,}9 = 0{,}06455$;

$m(NaHCO_3) = 0{,}06455 \cdot 150 = 9{,}682$ г;

$\nu(NaHCO_3)_{исх} = 9{,}682 : 84 = 0{,}1153$ моль.

$$2NaHCO_3 \rightarrow Na_2CO_3 + CO_2\uparrow + H_2O \qquad (I)$$

$\nu(NaHCO_3)_{вст} = x$ (во всей порции); тогда $\nu(Na_2CO_3)_{обр} = 0{,}5x$;
$\nu(NaHCO_3)_{ост} = 0{,}1153 - x$.

В меньшей порции ($^1/_{10}$): $\nu(Na_2CO_3) = 0{,}05x$;

$\nu(NaHCO_3) = 0{,}01153 - 0{,}1x$;

$$NaHCO_3 + HCl \rightarrow NaCl + CO_2\uparrow + H_2O \qquad (II)$$

$$Na_2CO_3 + 2HCl \rightarrow 2NaCl + CO_2\uparrow + H_2O \qquad (III)$$

$\nu(CO_2)_{II+III} = \nu(NaHCO_3) + \nu(Na_2CO_3) = 0{,}01153 - 0{,}1x + 0{,}05x$;
$\nu(CO_2)_{II+III} = 0{,}182 : 22{,}4 = 0{,}008125$;

$0{,}01153 - 0{,}05x = 0{,}008125$;
$x = 0{,}0681$.

В большей порции ($^9/_{10}$) перед пропусканием SO_2:

$\nu(Na_2CO_3) = 9 \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}0681 = 0{,}30645$ моль;
$\nu(NaHCO_3) = 9 \cdot (0{,}01153 - 0{,}1 \cdot 0{,}0681) = 0{,}04248$ моль;
ν(Na в $NaHCO_3$ и Na_2CO_3) $= 0{,}04248 + 2 \cdot 0{,}030645 = 0{,}10377$ моль;
$\nu(SO_2) = 2{,}24 : 22{,}4 = 0{,}1$ моль.

Так как $\nu(SO_2) > \nu(CO_3^{2-}) + 0{,}5\nu(HCO_3^-)$, следовательно, CO_3^{2-} и HCO_3^- будут полностью удалены из раствора по реакциям:

$$CO_3^{2-} + SO_2 \rightarrow SO_3^{2-} + CO_2\uparrow$$
$$2HCO_3^- + SO_2 \rightarrow SO_3^{2-} + 2H_2O$$

$\nu(Na)/\nu(SO_2) = 0{,}10377 : 0{,}1 = 1{,}04$; следовательно, наряду со средней солью образуется кислая соль по реакции

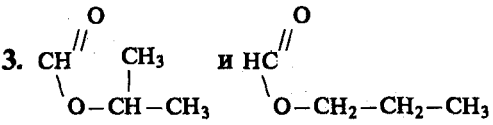
$$SO_3^{2-} + SO_2 + H_2O \rightarrow 2HSO_3^-$$

Пусть $\nu(NaHSO_3) = y$; $\nu(Na_2SO_3) = 0{,}1 - y$;
$y + 2(0{,}1 - y) = 0{,}10377$; $y = 0{,}00377$;
$\nu(NaHSO_3) = 0{,}0377$ моль; $\nu(Na_2SO_3) = 0{,}1 - 0{,}00377 = 0{,}0962$ моль.
Следовательно, $\nu(NaHSO_3) = 0{,}0377$ моль; $\nu(Na_2SO_3) = 0{,}0962$ моль.

БИЛЕТ № 5

1. BCl_3 (у бора); NO_2 (у азота); SO_2 (у серы).

2. Изомерия цепи атомов углерода; изомерия положения кратной связи в цепи; изомерия положения функциональной группы или отдельных атомов в молекуле; межклассовая изомерия; пространственная или стереоизомерия.

3. 

Выберем соли $ZnBr_2$ и Na_2CO_3

1) $ZnBr_2 + Na_2CO_3 \rightarrow ZnCO_3\downarrow + 2NaBr$

2) $ZnCO_3 \xrightarrow{t} ZnO + CO_2$

3) $ZnBr_2 + Cl_2 \rightarrow ZnCl_2 + Br_2$

4) $2NaBr + Cl_2 \rightarrow 2NaCl + Br_2$

5. «1» — параметры при 0 °С; «2» — параметры при 30 °С.

$V(H_2O) = x$ (л); $m(H_2O) = 1000x$ (г);

$V_1(NH_3) = 1330x$ (л); $m(NH_3) = 1300x \cdot 17 : 22{,}4 = 986{,}6x$ (г);

$\omega_1(NH_3) = 986{,}6x : 1986{,}6x = 0{,}4967$;

$m_1(NH_3) = 250 \cdot 0{,}4967 = 124{,}2$ г; $m(H_2O) = 250 - 124{,}2 = 125{,}8$ г;

$V(H_2O) = 0{,}1258$ л; $V_2(NH_3) = 0{,}1258 \cdot 595 = 74{,}85$ л;

$$m_2(NH_3) = \frac{pVM}{RT} = \frac{101 \cdot 74{,}85 \cdot 17}{8{,}31 \cdot 303} = 51{,}05 \text{ (г)};$$

$\Delta m = 124{,}2 - 51{,}05 = 73{,}2$ г.

Следовательно, уменьшится на 73,2 г.

6. $\nu(K_2HPO_4)_{вст} = 0{,}175 \cdot 0{,}125 = 0{,}02188$ моль;

$2K_2HPO_4 + H_2SO_4 \rightarrow 2KH_2PO_4 + K_2SO_4$

$\nu(H_2SO_4)_{вст} = x$ моль;

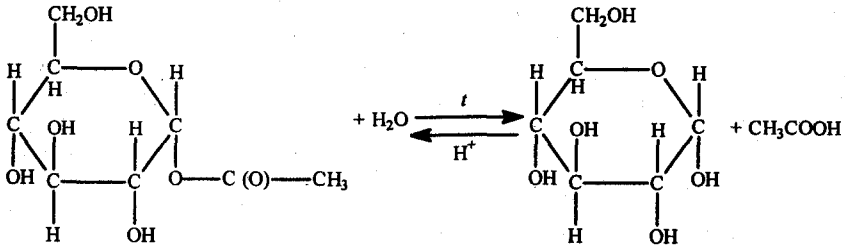
$174(0{,}02188 - 2x) = 136 \cdot 2x$; $x = 0{,}006139$ моль;

$\omega(SO_3) = y$; $\dfrac{0{,}595y}{80} + \dfrac{0{,}595(1-y)}{98} = 0{,}006139$ в олеуме, $y = 0{,}0495$, т. е. $\omega(SO_3) = 4{,}95\%$.

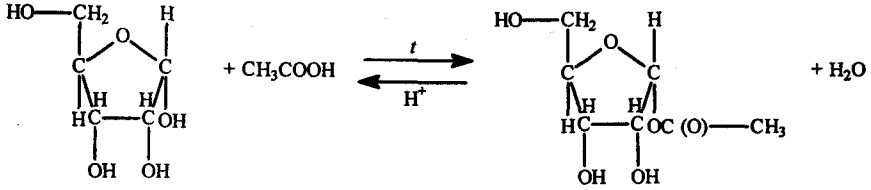
7. Вариант:

$$\underset{\text{ацетат глюкозы}}{C_8H_{14}O_7} \longrightarrow \underset{\text{уксусная кислота}}{C_2H_4O_2} \longrightarrow \underset{\text{ацетат рибозы}}{C_7H_{12}O_6} \longrightarrow \underset{\text{рибоза}}{C_5H_{10}O_5}$$

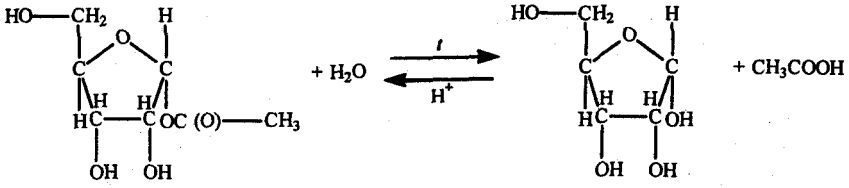
1)



2)



3)



8. Выберем H_2; Cl_2; S; O_2.

1) $H_2 + S \xrightarrow{t} H_2S$

2) $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$

3) $H_2S + 4Cl_2 + 4H_2O \rightarrow H_2SO_4 + 8HCl$

4) $2Fe + 6H_2SO_4\ (конц) \xrightarrow{t} Fe_2(SO_4)_3 + 3SO_2\uparrow + 6H_2O$

9. Выберем пропилацетат

1) $CH_3C(=O)-O-CH_2-CH_2-CH_3 + H_2O \overset{t}{\rightleftarrows} \overset{t}{\rightleftarrows} CH_3-COOH + CH_3-CH_2-CH_2-OH$

2) $5C_2H_5CH_2OH + 4KMnO_4 + 6H_2SO_4 \rightarrow$

$\rightarrow 5C_2H_5COOH + 4MnSO_4 + 2K_2SO_4 + 11H_2O$

3) $CH_3COOH + Cl_2 \rightarrow CH_2ClCOOH + HCl$ (красный фосфор)

4) $C_2H_5COOH + Cl_2 \rightarrow CH_3-CHCl-COOH + HCl$ (красный фосфор)

5) $CH_2Cl-COOH + 2NH_3 \rightarrow NH_2-CH_2-COOH + NH_4Cl$

6) $CH_3-CHCl-COOH + 2NH_3 \rightarrow CH_3-CH(NH_2)-COOH + NH_4Cl$

7) $NH_2-CH_2-COOH + CH_3-CH(NH_2)-COOH \rightarrow$

$\rightarrow NH_2-CH_2-CO-NH-CH(CH_3)-COOH + H_2O$ (схема)

10. C_nH_{2n-2} — алкин, $C_mH_{2m+4}N_2$ — диамин, $2m+4=2n-2$; $m=n-3$; т. е. диамин $C_{n-3}H_{2n-2}N_2$, $M_{ср}=2{,}138\cdot 29=62$;

$$\begin{cases} 14n-2>62,\ 4{,}57<n<5{,}14,\ n=5, \\ 14n-10<62 \end{cases}$$

алкин C_5H_8; диамин $C_2H_4(NH)_2$.

$\nu(C_5H_8)=x$ (моль); ν(диамин) $=y$ (моль);

$$\begin{cases} 68x+60y=5, \\ \dfrac{68x+60y}{x+y}=62,\ x=0{,}02016 \text{ моль}. \end{cases}$$

$$C_5H_8 + 2Br_2 \rightarrow C_5H_8Br_4$$

$\nu(Br_2) = 2 \cdot 0{,}2016 = 0{,}04032$ моль;

$m(Br_2) = 0{,}04032 \cdot 160 = 6{,}45$ г; $m(Br_2, р\text{-}р) = 6{,}45 : 0{,}03 = 215$ г.

БИЛЕТ № 6

1. Протий и дейтерий.

2. Пентозы и гексозы; альдозы и кетозы. Дезоксирибоза $C_5H_{10}O_4$.

3. Во все пробирки добавить воду; растворяется только NaOH.

Полученный раствор добавить в оставшиеся две пробирки; растворится только ZnO

$$ZnO + H_2O + 2NaOH \rightarrow Na_2[Zn(OH)_4]$$

4. К смеси добавить натрий

$$2CH_3CH(OH)CH_3 + 2Na \rightarrow 2CH_3CH(ONa)CH_3 + H_2\uparrow$$

Этаналь отогнать, а сухой остаток растворить в воде, после чего отогнать спирт

$$CH_3CH(ONa)CH_3 + H_2O \rightarrow CH_3CH(OH)CH_3 + NaOH$$

5.

$$M_{срI} = \frac{0{,}940 \cdot 8{,}31 \cdot 473}{101} = 36{,}58 \text{ г/моль} \Rightarrow \text{в смеси есть метиламин}$$

$$M_{срII} = \frac{2{,}09 \cdot 8{,}31 \cdot 473}{101} = 81{,}34 \text{ г/моль}$$

$\varphi(CH_3NH_2)_I = x$; тогда $\varphi(C_nH_{2n+3}N)_I = 1 - x$ и

$\varphi(CH_3NH_2)_{II} = 1 - x$; тогда $\varphi(C_nH_{2n+3}N)_{II} = x$.

Из системы уравнений

$$31x + (14n + 17)(1 - x) = 36{,}58 \text{ и } 31(1 - x) + (14n + 17)x = 81{,}34 \quad n = 5$$

$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2NH_2$ $CH_3-CH_2-CH_2-CH(NH_2)-CH_3$

$CH_3-CH_2-CH(NH_2)-CH_2-CH_3$ $CH_3-CH(CH_3)-CH_2-CH_2NH_2$

$CH_3-CH(CH_3)-CH(NH_2)-CH_3$ $CH_3-C(NH_2)(CH_3)-CH_2-CH_3$

$NH_2CH_2-CH(CH_3)-CH_2-CH_3$

6.

$$C_5H_{10}O_2 + KOH \rightarrow C_nH_{2n+2}O + C_{5-n}H_{9-2n}O_2K$$

Пусть $m(C_5H_{10}O_2)_{ост} = m$; $\nu(C_5H_{10}O_2)_{ост} = m : 102 = 0{,}009804m$

$$M(C_nH_{2n+2}O + C_{5-n}H_{9-2n}O_2K) = M(C_5H_{10}O_2) + M(KOH) =$$

$$= 102 + 56 = 158 \text{ г/моль}$$

$$\nu(C_nH_{2n+2}O) = \nu(_{5-n}H_{9-2n}O_2K);$$

$$M(C_{5-n}H_{9-2n}O_2K) = 158 - 14n - 18 = 140 - 14n$$

$$\frac{140-14n}{14n+18} = \frac{4,94}{2,03};\ n = 2$$

$$C_2H_5C(O)OC_2H_5 + KOH \rightarrow KC_2H_5COO + C_2H_5OH$$

$$\nu(C_2H_5OH) = 2,03m : 46 = 0,04413m;$$

$$\nu(C_5H_{10}O_2)_{вст} = \nu(C_2H_5OH) = 0,04413m;$$

$$\nu(C_5H_{10}O_2)_{вих} = \nu(C_5H_{10}O_2)_{ост} + \nu(C_5H_{10}O_2)_{вст} =$$

$$= 0,009804m + 0,04413m = 0,05393m$$

$$\eta = \nu(C_5H_{10}O_2)_{вст} : \nu(C_5H_{10}O_2)_{вих} = 0,04413m : 0,05393m = 0,818$$

Ответ: 81,8%.

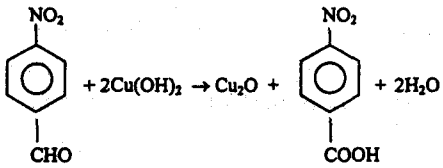
7.

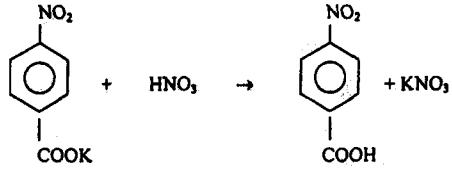
$$KH_2PO_4 \rightarrow K_3PO_4 \rightarrow KOH \rightarrow KCl$$

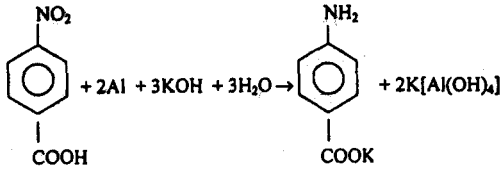
a) $KH_2PO_4 + 2KOH \rightarrow K_3PO_4 + 2H_2O$

b) $2K_3PO_4 + 3Ca(OH)_2 \rightarrow Ca_3(PO_4)_2\downarrow + 6KOH$

c) $KOH + NH_4Cl \rightarrow KCl + NH_3\uparrow + H_2O(t)$







9. $20HI + 3H_2SO_4 \rightarrow 10I_2 + H_2S + 2S + 12H_2O$

10. $\nu(Na_2CO_3) = 400 \cdot 0{,}106 : 106 = 0{,}4$ моль

$$Na_2CO_3 + HNO_3 \rightarrow NaHCO_3 + NaNO_3 \quad (I)$$

$$Na_2CO_3 + 2NO_2 + H_2O \rightarrow 2NaHCO_3 + NaNO_3 + NaNO_2 \quad (II)$$

$$m(NaHCO_3)_{\text{после II}} = 84 \cdot 0{,}4 = 33{,}6 \text{ г}$$

$$m(NaNO_3 + NaNO_2)_{\text{после II}} = 65{,}2 - 33{,}6 = 31{,}6 \text{ г}$$

$$\nu(Na^+)_{\text{исх}} = 2\nu(Na_2CO_3) = 2 \cdot 0{,}4 = 0{,}8 \text{ моль}$$

$$\nu(Na^+ \text{ в } NaNO_3 + NaNO_2) = \nu(Na^+)_{\text{исх}} - \nu(NaHCO_3)_{\text{после II}} = 0{,}8 - 0{,}4 = 0{,}4 \text{ моль}$$

Пусть $\nu(NaNO_3) = x$; $\nu(NaNO_2) = y$

Из системы уравнений

$$\begin{cases} x + y = 0{,}4 \\ 85x + 69y = 31{,}6 \end{cases}$$

$$x = 0{,}25;\ y = 0{,}15$$

$$m(NaNO_3) = 85 \cdot 0{,}25 = 21{,}25 \text{ г};\ m(NaNO_2) = 69 \cdot 0{,}15 = 10{,}35 \text{ г}$$

$$\nu(HNO_3)_{\text{I}} = \nu(NaNO_3) - \nu(NaNO_2) = 0{,}25 - 0{,}15 = 0{,}1 \text{ моль}$$

$$m(HNO_3) = 63 \cdot 0{,}1 = 6{,}3 \text{ г}$$

$$m(HNO_3, \text{ раствор}) = 6{,}3 : 0{,}066 = 95{,}45 \text{ г}$$

$$\nu(NO_2)_{\text{II}} = 2\nu(NaNO_2) = 2 \cdot 0{,}15 = 0{,}3 \text{ моль}$$

$$m(NO_2) = 2\nu(NaNO_2) = 46 \cdot 0{,}3 = 13{,}8 \text{ г}$$

$$BaH_2 + 2H_2O \rightarrow Ba(OH)_2 + 2H_2\uparrow \quad (III)$$

$$\nu(BaH_2) = 41{,}7 : 139 = 0{,}3 \text{ моль};\ \nu(Ba(OH)_2) = \nu(BaH_2) = 0{,}3 \text{ моль}$$

$$\nu(H_2) = 2\nu(BaH_2) = 0{,}6 \text{ моль};\ m(H_2) = 2 \cdot 0{,}6 = 1{,}2 \text{ г}$$

$$Ba(OH)_2 + NaHCO_3 \rightarrow BaCO_3\downarrow + NaOH + H_2O \quad (IV)$$

0,3 моль (недостаток) 0,4 моль (избыток) 0,3 моль 0,3 моль

$$\nu(NaHCO_3)_{\text{ост после IV}} = 0{,}4 - 0{,}3 = 0{,}1 \text{ моль};\ m(BaCO_3) = 197 \cdot 0{,}3 = 59{,}1 \text{ г}$$

$$NaOH + NaHCO_3 \rightarrow Na_2CO_3 + H_2O \quad (V)$$

0,3 моль (недостаток) 0,1 моль

$$\nu(Na_2CO_3)=\nu(NaHCO_3)=0{,}1 \text{ моль};\ m(Na_2CO_3)=106\cdot 0{,}1=10{,}6 \text{ г}$$

$$m(\text{раствор})_{\text{итог}}=m(\text{р-р})_{\text{исх}}+m(HNO_3,\ \text{р-р})+m(NO_2)+m(BaH_2)-m(H_2)-$$

$$-m(BaCO_3)=400+95{,}45+13{,}8+41{,}7-1{,}2-59{,}1=490{,}65 \text{ г}$$

$$\omega(NaNO_3)=21{,}25:490{,}65=0{,}0433;\ \omega(NaNO_2)=10{,}35:490{,}65=0{,}0211$$

$$\omega(Na_2CO_3)=10{,}6:490{,}65=0{,}0216$$

Ответ: $\omega(NaNO_3)=4{,}33\%$; $\omega(NaNO_2)=2{,}11\%$; $\omega(Na_2CO_3)=2{,}16\%$.

БИЛЕТ № 7

1. Протонов 25, нейтронов 30 (Mn)
2. Рибоза.
3. Содержимое пробирок прокалить.

$$NH_4Cl\rightarrow NH_3+HCl \text{ (без остатка)}.$$

В оставшиеся пробирки добавить воду, растворится только NaCl.

4. Через смесь пропустить хлороводород

$$(C_2H_5)_2NH+HCl\rightarrow(C_2H_5)_2NH_2Cl$$

Диэтиловый эфир отогнать, а сухой остаток обработать щелочью при нагревании

$$(C_2H_5)_2NH_2Cl+NaOH\rightarrow NaCl+H_2O+(C_2H_5)_2NH\uparrow$$

Пары диэтиламина сконденсировать.

5. В каждом из двух соединений: $C_4H_{10-x}Br_x$ и $C_4H_{9-x}Br_{x+1}$ по 14 атомов; в первом соединении $34+34x$ электронов, во втором $68+34x$ электронов

$$(68+34x):14>11{,}5 \text{ и } (34+34x):14<11{,}5,$$

$$\text{откуда } 2{,}7<x<3{,}7\Rightarrow x=3.$$

Пусть $\nu(C_4H_7Br_3)=x$; $\nu(C_4H_6Br_4)=y$; тогда

$$\nu(e^- \text{ в } C_4H_7Br_3)=136x;\ \nu(e^- \text{ в } C_4H_6Br_4)=170y;$$

$$\frac{136x+170y}{14(x+y)}=11{,}5;\ y=2{,}778x$$

$$\omega(C_4H_6Br_4)=\frac{374\cdot 2{,}778x}{374\cdot 2{,}778x+295x}=0{,}779$$

$\omega(C_4H_7Br_3)=1-0{,}779=0{,}221$

$CH_2Br-CBr(CH_2Br)-CH_2Br$ $CH_3-CH(CHBr_2)-CHBr_2$

$CH_2Br-CH(CH_2Br)-CHBr_2$ $CH_3-CBr(CH_3)-CBr_3$

$CH_3-CH(CH_2Br)-CBr_3$ $CH_3-CBr(CH_2Br)-CHBr_2$

6.

$$2NO+O_2\rightarrow 2NO_2 \quad (I)$$

$\nu(N)/\nu(O)=0{,}55$, следовательно, в конечной смеси были NO и NO_2 (NO в избытке). Пусть $\nu(O_2)=x$; $\nu(NO)=y$

$$y:(2x+y)=0{,}55, \text{ откуда } y=2{,}444x$$

$$2KOH+2NO_2\rightarrow KNO_3+KNO_2+H_2O \quad (II)$$

$$\nu(NO)_{вст I}=2\nu(O_2)=2x$$

$$\nu(NO)_{ост}=2{,}444x-2x=0{,}444x$$

$$\nu(NO)_{ост}=0{,}056:22{,}4=0{,}0025 \text{ моль}$$

$$0{,}444x=0{,}0025, \text{ откуда } x=0{,}005626$$

$$m(O_2)=32\cdot 0{,}005626=0{,}18 \text{ г}$$

7. $ZnO\rightarrow ZnSO_4\rightarrow ZnCO_3\rightarrow CO_2$.

a) $ZnO+H_2SO_4\rightarrow ZnSO_4+H_2O$

b) $ZnSO_4+Na_2CO_3\rightarrow ZnCO_3\downarrow+Na_2SO_4$

c) $ZnCO_3\rightarrow ZnO+CO_2(t)$

8. A — стирол

$$C_6H_5-CH_2-CH_2Cl+KOH \text{ (спирт)}\rightarrow C_6H_5-CH=CH_2$$

$$C_6H_5-CHCl-CH_2Cl+Mg\rightarrow C_6H_5-CH=CH_2+MgCl_2$$

$$C_6H_5-R+Br_2\rightarrow C_6H_4RBr \text{ (смесь изомеров)}+HBr$$

$$(R=-CH_2-CH_2Cl \text{ или } -CHCl-CH_2Cl)$$

9. $6KMnO_4+7K_2SO_3+H_2O\rightarrow 4MnO_2+2K_2MnO_4+7K_2SO_4+2KOH$

10. M(эфир I) $<98{,}4$; $98{,}4<M$(эфир II) $<112{,}4$

Со щелочью реагирует эфир II, так как в молекуле должно быть не менее четырех атомов O (два в сложноэфирной связи и два в свободной группе — COOH) и трех атомов C, но $M(4O+3C)=100>98{,}4$

$$\underset{\text{эфир II}}{X-COOH}+NaOH\rightarrow XCOONa+H_2O \quad (I)$$

(Эфир II не может содержать фенольный гидроксил, так как в этом случае $M>112{,}4$)

ν(эфир II) $=\nu(NaOH)=0{,}3$ моль

Эфир I содержит один спиртовой гидроксил

$$2Y-OH+2Na\rightarrow 2Y-ONa+H_2\uparrow \qquad (II)$$

(Спиртовой гидроксил не может быть в эфире II, так как $M(5O+4C)>112{,}4$).

$$\nu(\text{эфир I})=2\nu(H_2)=2\cdot 0{,}1=0{,}2 \text{ моль}$$

ν (сложные эфиры) $=0{,}5$ моль; m(сложные эфиры) $=98{,}4\cdot 0{,}5=$ $=49{,}2$ г.

Пусть M(эфир I) $=x$; тогда M(эфир II) $=x+14$

$$0{,}2x+0{,}3(x+14)=49{,}2,$$

откуда $x=90\Rightarrow$ эфир I имеет состав $C_3H_6O_3$, а эфир II — $C_3H_4O_4$.

Составу $C_3H_6O_3$ отвечают две структуры:

$HO-CH_2-CO(O)-CH_3$(эфир IA) и $HC(O)-OCH_2-CH_2OH$ (эфир IB)

Составу $C_3H_4O_4$ отвечают две структуры:

$HOOC-C(O)O-CH_3$ (эфир IIA) и $HC(O)O-CH_2-COOH$ (эфир IIB)

$$R-C(O)-O-R'+NaOH\rightarrow NaRCOO+R'OH. \qquad (III)$$

При гидролизе смеси двух сложных эфиров образуются три вещества, если в смесь входили:

а) эфир IB и эфир IIB (общая кислота — муравьиная, образуется этиленгликоль);

б) эфир IA и эфир IIA (общий спирт — метанол);

в) эфир IA и эфир IIB (общая кислота — гликолевая, образуется метанол);

$$\nu(NaOH)_{I+III}=0{,}3+0{,}5=0{,}8 \text{ моль}; \; m(NaOH)_{I+III}=40\cdot 0{,}8=32 \text{ г}$$

$$\nu(H_2O)_I=0{,}3 \text{ моль}; \; m(H_2O)_I=18\cdot 0{,}3=5{,}4 \text{ г}$$

m(2 соли + кислота) $=m$(сложные эфиры) $+m(NaOH)_{I+III}-m(H_2O)_I=49{,}2+$ $+32-5{,}4=75{,}8$ г

m(спирт) $<75{,}8:8$; m(спирт) $<9{,}475$ г

а) ν(этиленгликоль) $<9{,}475:62$; ν(этиленгликоль) $<0{,}15$ моль (противоречит условию);

б—в) $\nu(CH_3OH)<9{,}475:32$; $\nu(CH_3OH)<0{,}296$ моль $\Rightarrow CH_3OH$ образовался при гидролизе только эфира I, а общей для эфиров I и II была гликолевая кислота;

$$m(HO-CH_2-CO(O)-CH_3)=90\cdot 0{,}2=18 \text{ г}$$

$$m(HC(O)O-CH_2-COOH) = 104 \cdot 0{,}3 = 31{,}2 \text{ г.}$$

Ответ: $HO-CH_2-CO(O)-CH_3$ —18 г;
$HC(O)O-CH_2-COOH$ — 31,2 г.

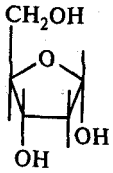
БИЛЕТ № 8

1. Аллотропные модификации фосфора резко отличаются по физическим свойствам. Белый фосфор — кристаллическое вещество, можно резать ножом (под водой), бесцветный с желтоватым оттенком, имеет чесночный запах, не растворяется в воде, хорошо растворяется в сероуглероде, светится в темноте, сильный яд.

Красный фосфор — порошкообразное вещество темно-красного цвета, без запаха. Не растворяется в воде, сероуглероде, не светится, не ядовит.

При сильном нагревании красный фосфор превращается в пары белого фосфора.

2. Дезоксирибоза $CH_2OH-CH(OH)-CH(OH)-CH_2-C(O)H$



3. $FeCl_2 \rightarrow BaCl_2 \rightarrow FeCl_3$

$$FeCl_2 + Ba(OH)_2 \rightarrow BaCl_2 + Fe(OH)_2$$

$$BaCl_2 + Fe_2(SO_4)_3 \rightarrow 3BaSO_4 + 2FeCl_3$$

4. $CH_3-O-CH_2-CH_3$ $CH_3-O-CH_2-CH_2-CH_3$

5. $\nu(Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O) = x$; $\nu(NaHPO_4 \cdot 2H_2O) = y$

$$\nu(\text{атомов в } Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O) = 18x;$$

$$\nu(\text{атомов в } Na_2HPO_4 \cdot 2H_2O) = 14y;$$

$$\nu(H)_{\text{сумм}} = 6x + 5y$$

$6x + 5y = 0{,}341(18x + 14y)$, откуда $x = 1{,}638y$

$$\omega(H_2O) = \frac{18 \cdot 1{,}638y + 36y}{252 \cdot 1{,}638y + 178y} = 0{,}111$$

Ответ: 11,1%.

6. $[C_6H_7O_2(OH)_3]_n + (3-a)n(CH_3CO)_2O \rightarrow$
$\rightarrow [C_6H_7O_2(OH)_a(OCOCH_3)_{3-a}]_n + (3-a)nCH_3COOH$

$M_{\text{средняя}}(\text{смеси продуктов}) = 1{,}6 \cdot 162n = 259{,}2n$

$111n + 17an + 59n(3-a) = 259{,}2n$; $a = 0{,}6857$

Этерифицировано: $3 - 0{,}6857 = 2{,}314$
Не этерифицировано: 0,6857

$$\frac{\text{Этерифицировано}}{\text{Не этерифицировано}} = \frac{2{,}314}{0{,}6857} = 3{,}37.$$

Ответ: 3,37.

7. $8NH_3 + 3Cl_2 \rightarrow 6NH_4Cl + N_2$

8. А — *стирол*

$$C_6H_5-CH_2-CH_2Cl + KOH\ (\text{спирт}) \rightarrow C_6H_5-CH=CH_2$$
$$C_6H_5-CHCl-CH_2Cl + Mg \rightarrow C_6H_5-CH=CH_2 + MgCl_2$$
$$C_6H_5-R + Br_2 \rightarrow C_6H_4RBr\ (\text{смесь изомеров}) + HBr$$
$$(R = -CH_2-CH_2Cl \text{ или } -CHCl-CH_2Cl)$$

9.

1) $CH_3-\underset{\underset{O}{\|}}{C}-\underset{\underset{O-(CH_2)_3-CH_3}{|}}{C}=O + H_2O \rightarrow CH_3-\underset{\underset{O}{\|}}{C}-COOH + CH_3-(CH_2)_2-CH_2OH$

2) $C_6H_5-CH_2Cl + KOH(\text{водн}) \rightarrow C_6H_5-CH_2OH + KCl$

3) $C_6H_5-CH_2OH + CH_3-\underset{\underset{O}{\|}}{C}-COOH \rightarrow CH_3-\underset{\underset{O}{\|}}{\overset{\overset{O-CH_2-C_6H_5}{|}}{C}}=O + H_2O\ (t, H^+)$

10. $2FeBr_3 + Cu \rightarrow CuBr_2 + 2FeBr_2$ (I)

$CuBr_2 + H_2S \rightarrow CuS + 2HBr$ (II)

$Zn + 2HBr \rightarrow ZnBr_2 + H_2$ (III)

$Zn + FeBr_2 \rightarrow ZnBr_2 + Fe$ (IV)

Пусть $m(FeBr_3) = x$; $\nu(FeBr_3) = 0{,}15x : 296 = 0{,}0005068x$

$$\nu(FeBr_2)_{\text{обрII}} = \nu(Zn)_{\text{встIV}} = \nu(Fe)_{\text{обрIV}} = \nu(FeBr_3) = 0{,}0005068x$$

$$\nu(Zn)_{\text{встIII}} = 0{,}5\nu(FeBr_3)$$

$$m(Zn)_{\text{встIII-IV}} = 65 \cdot 1{,}5 \cdot 0{,}0005068x;\ m(Fe)_{\text{обрIV}} = 56 \cdot 0{,}0005068x$$

$$m(Fe)_{\text{обрIV}} - \nu(Zn)_{\text{встIII}} = -1{,}2450;$$

$$56 \cdot 0{,}0005068x - 65 \cdot 1{,}5 \cdot 0{,}0005068x = -1{,}245$$

$$x = 59{,}2.$$

Ответ: 59,2 г.

БИЛЕТ № 9

1. $3O_3 \rightarrow 2O_2$. В природе во время грозы. В лаборатории — в озонаторах.

2. Неконденсированный — пиримидин; конденсированный — пурин.

3. $NaHSO_4 \rightarrow NaOH \rightarrow NaHCO_3$

$$NaHSO_4 + Ba(OH)_2 \rightarrow BaSO_4 + NaOH + H_2O$$

$$NaOH + CO_2 \rightarrow NaHCO_3$$

4. Тимин

5. $\omega(NO_3^-)$ в $AgNO_3 = 62 : 170 = 0{,}3647$

$$\omega'(NO_3^-) = 2{,}5 \cdot 0{,}3647 = 0{,}91175$$

Пусть

$$M(Me) = x.$$

Для $Me(NO_3)_2$ справедливо

$$\frac{2M(NO_3^-)}{2M(NO_3^-) + x} > \omega'(NO_3^-); \quad \frac{124}{124 + x} > 0{,}91175,$$

откуда $x < 12 \Rightarrow$ металл = бериллий.

Пусть $\nu(AgNO_3) = a$; $\nu(Be(NO_3)_2) = b$

$$\frac{62a + 2 \cdot 62b}{170a + 133b} = 0{,}91175, \text{ откуда } b = 34a$$

$$\nu(Be) : \nu(Ag) = 34 : 1.$$

Ответ: $\nu(Be) : \nu(Ag) = 34 : 1$.

6. $Ba(NO_3)_2 \rightarrow Ba(NO_2)_2 + O_2$

$$2Ba(NO_3)_2 \rightarrow 2BaO + 4NO_2 + O_2$$

Пусть $\nu(Ba(NO_2)_2) = x$; $\nu(BaO) = y$, тогда $\nu(Ba(NO_3)_2) = x + y$

$$\frac{229x + 153y}{261(x + y)} = 0{,}711; \quad y = 1{,}331x$$

$m(BaO) = 153 \cdot 1{,}331x = 203{,}7x$; $m(Ba(NO_2)_2) = 229x$

m(остатка) $= 203{,}7x + 229x = 432{,}7x$
$\omega(BaO) = 203{,}7x : 432{,}7x = 0{,}47$

Ответ: 47%.

7. $2NaCl + 2H_2O \rightarrow H_2 + Cl_2 + 2NaOH$ (электролиз). (Реакции окисления металлов и восстановления неметаллов писать не требуется).

8. А — масляная кислота

$$C_6H_{12}O_6(\text{глюкоза}) \rightarrow C_3H_7COOH + 2CO_2 + 2H_2(\text{брожение})$$

$$2CH_3-(CH_2)_6-CH_3 + 5O_2 \rightarrow 4C_3H_7COOH + 2H_2O\ (\text{катализатор})$$

$$2C_3H_7COOH + Mg \rightarrow Mg(C_3H_7COO)_2 + H_2\uparrow$$

9.

1) $CH_2=CH-CH_2-CHCl-CH_2Cl + H_2O \rightarrow CH_3-CH(OH)-CH_2-CHCl-CH_2Cl\ (t, H^+)$

2) $ClCH_2-COOH + CH_3-CH(OH)-CH_2-CHCl-CH_2Cl \rightarrow ClCH_2-\underset{\underset{O}{\|}}{C}=O + H_2O\ (t, H^+)$

$$CH_3-\underset{\underset{O}{\|}}{CH}-CH_2-CHCl-CH_2Cl$$

3) $ClCH_2-\underset{\underset{O}{\|}}{C}=O + Mg \rightarrow ClCH_2-\underset{\underset{O}{\|}}{C}=O + MgCl_2$

$$CH_3-\underset{\underset{O}{\|}}{CH}-CH_2-CHCl-CH_2Cl \qquad CH_3-\underset{\underset{O}{\|}}{CH}-CH_2-CH=CH_2$$

10. В соединении А $n(C) : n(N) = 1{,}05 : 0{,}15 = 7$; $n(Br) : \nu(N) = 0{,}45 : 0{,}15 = 3$.

В соединении С $\nu(C) = 39{,}75 \cdot 0{,}317 : 12 = 1{,}05$ моль;

следовательно, в молекулах А, В и С одинаковое число атомов углерода.

$$M(B) < M(CH_3I);\ \text{т. е. } M(B) < 12.$$

Поскольку $M(7C) = 12 \cdot 7 = 84 < 142$, но $M(14C) = 12 \cdot 14 = 168 > 142$, то в молекулах А, В и С по 7 атомов углерода, а в молекуле А — 1 атом азота

$$\nu(A) = \nu(B) = \nu(C) = \nu(N) = 0{,}15 \text{ моль},$$

следовательно, в соединении В — 2 атома кислорода, оба в спиртовых гидроксилах.

$$C_7H_aBr_3N \rightarrow C_7H_bBr_xNO_2.$$

Так как в исходном соединении не было кратных связей, а при обработке водным раствором щелочи кратные связи не образуются, происходило окисление гидроксильных групп.

При окислении вторичного гидроксила до кетогруппы

$$\nu(KMnO_4):\nu(R_1-CH(OH)-R_2)=2:5=0{,}4.$$

При окислении первичного гидроксила до карбоксильной группы

$$\nu(KMnO_4):\nu(R-CH_2OH)=4:5=0{,}8.$$

По условию задачи

$$\nu(KMnO_4):\nu(C_7H_bBr_xNO_2)=0{,}24:0{,}15=1{,}6.$$

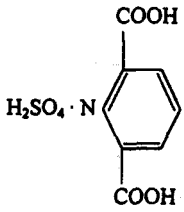
Следовательно, оба спиртовых гидроксила были первичными, т. е. протекала реакция

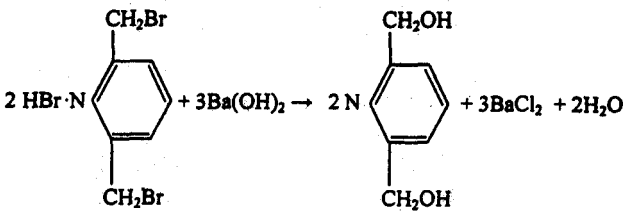
$$C_7H_bBr_xO_2 \rightarrow C_7H_cBr_yO_4N\cdot H_2SO_4$$

$$M(C_7H_cBr_yO_4N\cdot H_2SO_4)=39{,}75:0{,}15=265\ \text{г/моль}$$

$$M(H_cBr_y)=265-12\cdot 7-16\cdot 4-14-98=5 (y=0;\ c=5)$$

Соединение С может иметь только такое строение





$$\nu(Ba(OH)_2)=1{,}5\nu(A)=1{,}5\cdot 0{,}15=0{,}225\ \text{моль};$$

$$m(Ba(OH)_2)=171\cdot 0{,}225=38{,}5\ \text{г}.$$

ОТВЕТЫ НА ЗАДАЧИ

21. $^{107}Ag/^{109}Ag = 1{,}22$. **22.** $^{28}Si/^{29}Si = 40{,}2$. **26.** $9{,}52 \cdot 10^{-21}$ г. **27.** 894 г/моль. **28.** 0,015 моль. **29.** 30 г. **30.** B SO_2. **31.** B Fe_2O_3 (0,144 > 0,111). **32.** $\omega(N) = 7{,}14\%$; $\omega(H_2O) = 27{,}6\%$; $\omega(SO_4^{2-}) = 49{,}0\%$. **33.** Все — Li; натрий кроме F; калий кроме F и Cl. **34.** $0{,}523 < \omega(K) < 0{,}672$. **35.** $0{,}571 < \omega(S) < 0{,}780$. **36.** Магния в 1,31 раза. **37.** а) 0,45; б) 1,2; в — г) 0,3; д) 23,1. **38.** 22,6 г/см^3. **39.** 12,5 г. **40.** 0,4 моль. **41.** 1,95 г. **42.** 2,55 г. **43.** $1{,}09 \cdot 10^{19}$ атомов. **44.** $FeSO_4 \cdot 7H_2O$. **45.** Cr. **46.** Ba. **47.** а) $M^+ > 64$; $M^{3+} > 192$; б) $19{,}5 < M^+ < 64$; $57{,}5 < M^{3+} < 192$. **48.** 0,145 г. **49.** $8{,}10 \cdot 10^{23}$ атомов; $4{,}38 \cdot 10^{24}$ электронов. **50.** Приблизительно 8. **51.** 12,8 г. **52.** 5,72 г. **53.** 338 г. **54.** $m(NaF) = 2{,}1$ г. **55.** $m(BeO) = 0{,}0625$ г. **56.** $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$. **57.** $Zn(CH_3COO)_2 \times 2H_2O$. **58.** $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$. **59.** $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$. **60.** BaO_2. **61.** Cl_2O_7. **62.** H_3PO_3. **63.** H_2CrO_4. **64.** Mg_3P_2. **65.** Кальций. **66.** $\omega(CuO) = 52{,}6\%$; $\omega(Cu_2O) = 47{,}4\%$. **67.** $\omega(FeCl_3) = 65{,}7\%$; $\omega(FeCl_2) = 34{,}3\%$. **68.** 228 г. **69.** 250 г. **70.** $\nu(CaC_2)/\nu(CaCO_3) = 1{,}625$. **71.** $\nu(NaHS)/\nu(NaHSO_3) = 2{,}18$. **72.** 6,90 г. **73.** 31,1 г. **74.** $\omega(Ba) = 43{,}5\%$. **75.** 562. **76.** 203 г/моль. **77.** 5,56 г. **78.** 0,218 г. **79.** $1{,}93 \cdot 10^{24}$. **80.** $1{,}44 \cdot 10^{24}$. **81.** 23,6%. **82.** 71,3%. **83.** Na_2CO_3 или $(NH_4)_2CO_3$. **84.** $(NH_4)_2HPO_4$. **85.** Ca. **86.** $NaBr \cdot 2H_2O$. **87.** $Cr_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$. **88.** $1{,}47 < m < 3{,}35$ г. **89.** 27,2%. **90.** а) K_2O; б) KO_3. **91.** Хлор. **92.** 0,333 л. **93.** 0,133 л. **94.** а) $1{,}51 \cdot 10^{26}$; б) $2{,}11 \cdot 10^{26}$. **95.** 0,893 г/л; 5,71 г/л. **96.** Фтор. **97.** Озон. **98.** 1) $t(O_2) = 2{,}76$ °C; 2) $t(H_2S) = 38{,}3$ °C. **99.** 1) $p(Ar) = 92{,}2$ кПа; 2) $p(HCl) = 111$ кПа. **100.** SO_2. **101.** CO. **102.** CO_2. **103.** 25,6 г/моль. **104.** 0,790. **105.** $D_{возд} = 1$; $D_{водород} = 14{,}5$. **106.** 2,28. **107.** $\varphi(O_2) = 92{,}9\%$; $\varphi(He) = 7{,}1\%$. **108.** $\omega(CO_2) = 51{,}3\%$. **109.** $\varphi(CO_2) = 40\%$. **110.** $\varphi(CO_2) = 38{,}9\%$; $\varphi(CO) = 61{,}1\%$. **111.** 6,27 л. **112.** 3,78 г. **113.** 2,16 л. **114.** 11,2 л. **115.** 6,19. **116.** Меньше в 21,1 раза. **117.** 0,931 г/л. **118.** $\varphi(NO_2) = 25\%$; $\varphi(Ne) = 75\%$. **119.** $\varphi(NH_3) = 55{,}2\%$. **120.** 1,06 г. **121.** HF. **122.** He. **123.** HBr. **124.** $\varphi(H_2) = 2{,}86\%$. **125.** $\varphi(N_2) = 81{,}4\%$. **126.** От 0 до 15,2%. **127.** От 0 до 7,55%. **128.** а) $27{,}3\% < \varphi(HF) < 51{,}5\%$; б) $63{,}2\% < \omega(HCl) < 82{,}9\%$; в) $1{,}14$ г/л $< \rho < 1{,}31$ г/л. **129.** В 1,13 раза уменьшится. **130.** 0,700. **131.** $\varphi(CH_4) = 31{,}8\%$; $\varphi(CO_2) = 68{,}2\%$. **132.** 2,14 г/л. **133.** He; HF. **134.** Уменьшится в 3,92 раза. **135.** Кислород и метан. **136.** CO; CO_2. **137.** 17,6 г. **138.** Воды 95,6 г; соли 10,6 г. **139.** 175 мл. **140.** 0,198 моль. **141.** 13,8%. **142.** 8,57%. **143.** 3,24%. **144.** 3,75%. **145.** 6,02%. **146.** 4,76%. **147.** 32,5%. **148.** 9,22 г. **149.** 6,34 ммоль. **150.** $\nu(ZnSO_4) = 0{,}0805$ моль; $\nu(\text{глицерин}) = 0{,}403$ моль. **151.** Масса метанольного раствора в 4,19 раза больше. **152.** 2,71 г. **153.** 181 г. **154.** $\omega(Na_2CO_3) = 2{,}80\%$; $\omega(NaOH) = 2{,}11\%$; остальное — вода. **155.** 10. **156.** 19,0%. **157.** $\omega(HNO_3) = 5\%$; $\omega(H_2SO_4) = 20{,}4\%$. **158.** $\omega(Na_2SO_4) = 6{,}28\%$; $\omega(H_3PO_4) = 5{,}44\%$. **159.** 15,0%. **160.** $\omega(NaCl) = 12{,}5\%$; $\omega(KNO_3) = 16{,}7\%$. **161.** 6,00%. **162.** 12,7%. **163.** 142 г. **164.** 14,2 г. **165.** 128 г. **166.** 6,67 моль. **167.** 330 г. **168.** 12,4 моль. **169.** 8,4%. **170.** 73,1%. **171.** 63,1%. **172.** 34,1%. **173.** 72,3 г. **174.** 8,82%. **175.** 595 г. **176.** 103 г. **177.** 65,4 г. **178.** 3,39 г. **179.** На 8,62 г. **180.** 266 г. **181.** 0,226 моль; 0,287 моль; 0,242 моль. **182.** 35,5 г. **183.** 46 г. **184.** 13,4 г.

185. 0,0166 моль. **186.** Примерно 30. **187.** 0,019 г/мл. **188.** 386 г/л. **189.** 15,5 г/л. **190.** 16,7 г. **191.** 32,3 мг. **192.** $\omega(KBr)=22{,}9\%$. **193.** 0,1 моль/л. **194.** 6,25 г/л. **195.** 0,0135 моль/л. **196.** 17,1 г. **197.** 5,31 моль/л. **198.** 5,00%. **199.** 66,5 мл. **200.** 178 г. **201.** 101. **202.** 1,89 моль/л. **203.** 11,6 моль/л. **204.** Соли железа надо взять по массе в 3,2 раза больше. **205.** 1,34 моль/л. **206.** $\omega(KNO_3)=16{,}2\%$; $\omega(H_2O)=83{,}8\%$. **207.** От 9,29% до 17,7%. **208.** 8,68 мл. **209.** 148,6 г. **210.** Первого раствора в 1,97 раза больше. **211.** 4,04:1. **212.** $LiNO_3$. **213.** $ZnSO_4$. **214.** 28,0%. **215.** $\omega(K_2SO_4)=0{,}471\%$; $\omega(Al_2(SO_4)_3)=0{,}926\%$. **216.** 10,1 г/л. **217.** В 207 раз. **218.** $\nu(Na_2SO_4)/\nu(CuSO_4\cdot 5H_2O)=1{,}39$. **219.** $m(H_2O):m$ (кристаллогидрат) $=2{,}19:1$. **220.** $\omega(Na_2SO_3)=0{,}964\%$; $\omega(Na_2SO_4)=1{,}09\%$. **221.** 0,594 моль/л. **222.** 1,90 моль/л. **223.** 193. **224.** 0,166%. **225.** $\omega(Na_3PO_4)=7{,}94\%$. **226.** $\omega(CaBr_2)=32{,}7\%$. **227.** 117 г. **228.** 325 мл. **229.** 15 моль. **230.** 19,7 г. **231.** $\omega(Na_2SO_3)=13{,}1\%$. **232.** $\omega(Na_2CO_3)=14{,}4\%$. **233.** 2,81 моль/л. **234.** 182 г. **235.** 45,8 г. **236.** 1,84 г. **237.** 173 г. **238.** $m(KOH\cdot 2H_2O)=8{,}21$ г; m(этанол) $=41{,}8$ г. **239.** $m(NaOH)=2{,}90$ г. **240.** 110 г. **241.** 31,7 г. **242.** $\nu(Li_2SO_4\cdot H_2O)=0{,}596$ моль. **243.** 4,84 г. **244.** 16,4 г. **245.** 213 г. **246.** Раствор ненасыщенный. **247.** 39,7 г. **248.** 14 г. **249.** Уменьшится на 48,8 г. **250.** 67,5 г. **251.** 235 г. **252.** 148 г. **253.** 155 г. **254.** 1,7 кг. **255.** 20,0 г. **256.** 30,8 г. **257.** 53,9 г. **258.** 45,2%. **259.** 437 мл. **260.** 0,692 моль/л. **261.** 7 молекул. **262.** $Na_2CO_3\cdot 10H_2O$. **263.** $(ZnCl)_2\cdot 3H_2O$. **264.** $Na_2HPO_4\times 12H_2O$. **265.** $Na_2CrO_4\cdot 4H_2O$. **266.** $MnCl_2\cdot 4H_2O$. **267.** $Na_2Cr_2O_7\cdot 4H_2O$. **268.** $(KCH_3COO)_2\cdot 3H_2O$. **269.** $(K_2CO_3)_2\cdot 3H_2O$. **270.** $(BaI_2)_2\cdot 15H_2O$. **271.** 0,163%. **272.** 13,2%. **273.** 44,9%. **274.** 0,675%. **275.** HCl 35,4%. **276.** $\varphi(HCl)=31{,}1\%$. **277.** 0,0893 моль/л. **278.** 48,0 м^3. **279.** $\omega(HCl)=37{,}4\%$. **280.** 7,15 моль/л. **281.** 19,1 л. **282.** $30{,}6\%<\omega<49{,}7\%$. **283.** 52,9 л. **284.** 47,4 л. **285.** 22,6 л. **286.** 4,79 моль/л. **287.** 23,1 л. **288.** 148 л. **289.** 71,9 л. **290.** 63,9 л. **291.** Уменьшится на 51,7 г. **292.** 63,7 л. **410.** а) 80 г; б) 1,13 г; в) 3,57 г. **411.** 2,38 г. **412.** а) 3,69 г; б) 18,4 г; в) 26,3 г. **413.** 0,094 г. **414.** 2,40 моль/л. **415.** $\omega(LiOH)=6{,}89\%$. **416.** 22,6 мл. **417.** 9,87% NaOH. **418.** 27,6% H_2SO_4. **419.** 42,4% HNO_3. **420.** $\omega(NaOH)=13{,}0\%$. **421.** 0,198 г. **422.** 10%. **423.** 4,9%. **424.** 51,2 л. **425.** 5,00%. **426.** 66,2 г. **427.** 34,2 мг. **428.** 2,76 г. **429.** 95%. **430.** 93,3%. **431.** 77,2%. **432.** 80%. **433.** 80%. **434.** $CaCO_3$ 16,8 г. 3,20 л. CO_2. **435.** 32,9 г. **436.** $m(H_2)=0{,}621$ г; $V(N_2)=2{,}32$ л. **438.** В 50,5 раза. **439.** 4,25 г. **440.** $\varphi(HCl)=66{,}7\%$; $\varphi(H_2)=33{,}3\%$. **441.** $\omega(Cl_2)=49{,}3\%$. **442.** $\varphi(NO_2)=50{,}0\%$. **443.** 0,499 моль. **444.** Кислая. **445.** Кислая. **446.** 1,92 г. **447.** 23,3 г. **448.** 10,3 г. **449.** 5,1 г. **450.** $c(Na^+)=c(H^+)=1$ моль/л; $c(NO_3)^-=2$ моль/л. **451.** 1,35 г. **452.** 10,3 г. **453.** 16,9%. **454.** 0,21 л. **455.** 0,68 г $KHSO_4$; 0,583 г $BaSO_4$. **456.** 1800 мл. **457.** 7,68 л. **458.** 8,93 мл. **459.** $\omega(KHCO_3)=24{,}0\%$; $\omega(H_2O)=76{,}0\%$. **460.** 0,195 моль/л Na_2SO_3; 0,309 моль/л NaOH. **461.** $\omega(NaCl)=0{,}716\%$; $\omega(NaHCO_3)=1{,}03\%$; $\omega(Na_2CO_3)=3{,}26\%$. **462.** $\nu(K_2HPO_4)=\nu(KH_2PO_4)=0{,}004$ моль. **463.** $\nu(Na_2HPO_4)=\nu(NaCl)=\nu(NaH_2PO_4)=0{,}005$ моль. **464.** $\nu(Ba(H_2PO_4)_2)=0{,}81$ ммоль; $\nu(BaHPO_4)=1{,}38$ ммоль. **465.** $\omega(KH_2PO_4)=3{,}27\%$; $\omega(K_2HPO_4)=2{,}00\%$. **466.** $m(NH_4H_2PO_4)=1{,}73$ г; $m((NH_4)_2HPO_4)=1{,}98$ г. **467.** $\omega(Na_3PO_4)=7{,}16\%$; $\omega(NaOH)=1{,}73\%$. **468.** $\omega(NaOH)=1{,}75\%$; $\omega(Na_2CO_3)=4{,}20\%$. **469.** $\omega(BaCl_2)=6{,}83\%$; $\omega(HCl)=1{,}02\%$. **470.** Уменьшится на 0,197 г. **471.** От 1,94 л до 2,07 л. **489.** 156 л H_2; 77,8 л O_2. **490.** 2,83% HNO_3; 11,3% $AgNO_3$. **491.** 0,121 моль/л. **492.** 0,118 моль/л. **511.** В 6,25 раза. **512.** Уменьшится в 31,4 раза. **525.** 0,18 г. **526.** 69,5 г. **527.** 18,0 г. **528.** 10,0 л. **529.** 0,866 г/л. **530.** 2,50 моль/л. **531.** 3,33 моль/л. **532.** 84,4%. **533.** а) Синяя на красную; б) красная на синюю. **534.** 2,52 г. **535.** 0,6 г. **536.** 0,727%. **537.** 3,78 л. **538.** 4,88 л. **539.** 2,47 л. **540.** 5,05%. **541.** Во втором, в 62,1 раза. **542.** 2,88%. **543.** 0,257 г. **544.** 43,2 г. **545.** 1,12%. **546.** 48,8 л. **547.** 1,06%. **548.** 7,50%. **549.** $3m$ г. **554.** 0,560 л. **555.** 10,2 г.

556. $c(Mn^{2+}) = c(K^+) = 0{,}500$ моль/л. **557.** 2,00%. **558.** 43,5 г. **559.** 1,01 л. **560** 1,37 моль/л. **561.** 34,2 г. **562.** 0,17% H_2O_2; 8,32% $BaCl_2$. **590.** 19,2 г. **591.** 0,581%. **592.** 0,896 л. **593.** 19,9 г. **594.** 4,35 г. **595.** 8,34 г. **596.** 7,86 г. **597.** 3,50 л $< V <$ 6,00 л. **598.** 103 г. **599.** $\omega(H_2O_2) = 3{,}24\%$; $\omega(HCl) = 3{,}58\%$. **600.** 0,168 л. **601.** 113 мл. **602.** $\omega(KF) = 58{,}1\%$. **603.** $\omega(KI) = 36{,}9\%$; $\omega(Na_2SO_4) = 63{,}1\%$. **604.** $\varphi(Cl_2) = 11{,}2\%$; $\varphi(N_2) = 26{,}7\%$; $\varphi(HCl) = 62{,}1\%$. **605.** В 1,62 раза. **606.** В 2,74 раза меньше. **607.** $\omega(NaBr) = 36{,}1\%$. **608.** 19,6 л. **609.** $\omega(FeCl_3) = 50{,}8\%$; $\omega(CuCl_2) = 49{,}2\%$. **610.** 2,64% KClO, 6,52% KCl. **611.** 1,12 л. **612.** 7,27 г. **613.** ZnI_2. **614.** NaBr. **615.** 46,6 г. **616.** 0,840 г. **617.** 56,9 г. **618.** 5,13 мл. **657.** 32,7 л. **658.** 1,16 г/л. **659.** В 10 раз. **660.** 0,893 г/л. **662.** 3,20 г. **663.** 4,00. **664.** 3,92 л. **665.** 23,6 мл. **666.** 44,5 мл. **667.** 0,189 л. **668.** Li_2S. **669.** 0,207%. **670.** ZnS. **671.** $\nu(K_2SO_4) = \nu(Cr_2(SO_4)_3) = 0{,}05$ моль; $\nu(H_2SO_4) = 0{,}1$ моль; $\nu(K_2Cr_2O_7) = 0{,}01$ моль. **672.** 0,167 моль/л KOH. **673.** Fe. **674.** $V(CuSO_4, р\text{-}р) : V(H_2S, р\text{-}р) = 6{,}4 : 1$. **675.** В 4,62 хлора больше. **676.** ZnS. **678.** $m(K_2SO_3)/m(KHSO_3) = 1{,}32$. **679.** 3,96 г. **680.** 7,56 г. **681.** 4,74 г. **628.** 66,7%. **683.** 7,36 г. **684.** 51,2 г. **685.** 2,24 г. **686.** 1,21 г. **687.** Калий. **688.** 2,08 г $NaHSO_3$. **689.** 5,27 г. **690.** 91,5 мл. **691.** 0,626%. **692.** 14 моль/л. **694.** 3,2 л. **695.** $\omega(KMnO_4) = 6{,}32\%$; $\omega(MnSO_4) = 3{,}21\%$; $\omega(H_2SO_4) = 2{,}08\%$; $\omega(K_2SO_4) = 1{,}85\%$. **696.** 2,86 л. **697.** 103 г. **698.** 5,46 г Na_2S; 2,52 г Na_2SO_3. **699.** 247 мл. **700.** Дигидрат сульфита калия; сульфат калия. **701.** $\omega(H_2SO_4) = 0{,}975\%$; $\omega(HBr) = 3{,}22\%$. **702.** 2,33 г. **703.** 3 моль/л. **704.** HCl 0,291%; H_2SO_4 0,393%; Cl_2 0,142%. **705.** 6,75% K_2SO_3; 4,21% K_2CO_3. **706.** 18,2% SO_2; 7,8% SO_3; 74,0% O_2. **707.** Уменьшится в 1,11 раза. **708.** Уменьшится в 1,11 раза. **709.** 1,40. **710.** 20,4%. **711.** 12,5 л. **712.** В 30 раз. **713.** 6,16% сульфата магния; остальное — вода. **714.** 87,2% Na_2SO_4; 12,8% $NaHSO_3$. **715.** 13,3% сульфата; 65,6% нитрата; 21,1% хлорида. **716.** $\omega((NH_4)_2SO_4) = 40{,}7\%$; $\omega((NH_4)_2CO_3) = 59{,}3\%$. **717.** 2,37 г. **718.** 60,8% K_2S. **719.** Калий. **720.** 9,39%. **721.** 410 г. **723.** Увеличится в 1,13 раза. **724.** Уменьшится на 19,4%. **725.** 14,2 г олеума; 5,8 г кислоты. **726.** 18,2 г олеума; 1,8 г кислоты. **727.** $m(олеум) : m(H_2SO_4, р\text{-}р) = 1{,}48 : 1$. **728.** 21,6%. **729.** 10,0%. **730.** а) 151 мл; б) 56,2 мл. **731.** 1,42 л. **732.** 22,1 г. **733.** 10,4 мл. **807.** 4,40 г. **808.** 80%. **809.** 17,6% NH_3; 14,7% N_2; 67,7% H_2. **812.** 5,26%. **813.** а) NH_4HSO_4; б) $(NH_4)_2SO_4$. **814.** 55,2% магния. **815.** 1,52 г. **816.** 3,20 г. **817.** HBr. **818.** В 10,0 раз. **819.** 7,54 г. **821.** 2,77 г/л. **822.** Увеличится на 1,67. **823.** Аммиак 15,6%. **824.** $\omega(Ne) = 49{,}0\%$; $\omega(NH_3) = 51{,}0\%$. **825.** 5,24 г/л. **826.** 1,12 г. **827.** 5,97 г. **828.** Sr_3N_2. **829.** 18,0 г $CaCl_2$; 5,78 г NH_4Cl; 0,511 г HCl; 16,4 г $Ca(NO_3)_2$. **830.** Кальций. **831.** Калий. **832.** Натрий. **833.** 0,667 NO. **834.** 55,0%. **835.** $\varphi(Ar) = 30{,}8\%$; $\varphi(N_2) = 46{,}1\%$; $\varphi(O_2) = 23{,}1\%$. **836.** $\varphi(NO_2) = 20{,}0\%$; $\varphi(N_2) = 80{,}0\%$. **837.** 7,20 г. **838.** Увеличится на 1,43 г. **839.** 5,83 л. **840.** 7,01% KNO_2; 14,0% KNO_3. **841.** N_2O. **842.** NO. **843.** NO_2. **844.** а) $\nu(O_2) : \nu(NO) = 2{,}24 : 1$; б) $\nu(NO) : \nu(O_2) = 5{,}48 : 1$. **847.** Sr. **848.** Ba. **849.** 36,4 мл. **850.** 8,43 мл. **851.** 0,0501 моль. **852.** $c = 2{,}83$ моль/л; $\omega = 17{,}4\%$. **853.** 17,9 мл. **854.** 1,28% $NaNO_3$; 0,631% $NaHCO_3$. **855.** 2,82% HNO_3; 8,21% NH_4NO_3. **856.** 13,7 г. **857.** 43,1 мл. **858.** 0,1 моль/л. **859.** 6,00 г (до серы). **860.** 53,9%. **861.** В 20,5 раза. **862.** а) 0,686 л; б) 8,24 л. **863.** 2,01 г/л. **868.** а) 20%; б) 33,3%; в) 11,1%; г) 20%. **869.** 1,33 л. **870.** Li. **871.** В 2,06 раза. **872.** $Fe(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$. **873.** $Fe(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$. **874.** 21,5%. **875.** $Cr(NO_3)_2$. **876.** $Fe(NO_3)_3$. **877.** $Zn(NO_3)_2$. **878.** Mg. **910.** 44,3 л. **911.** 51,4% PCl_5. **912.** 40,6 г. **913.** 1,55 г. **914.** 4,34 г. **915.** 0,31 г.

916. 4,71 г. **917.** 1,63 г/л. **918.** 5,24 л. **919.** В 2,36 раза. **920.** $\omega(Ca_3P_2)=38{,}1\%$. **921.** 89,6 л. **922.** 0,421 г. **923.** 0,03 моль Mg_3P_2; 0,01 моль Ba_3P_2. **924.** Ca. **925.** Na. **926.** Mg. **927.** 255 мл. **928.** $\omega(HCl)=18{,}2\%$; $\omega(H_3PO_3)=13{,}6\%$. **929.** $\omega(HNO_3)=11{,}6\%$; $\omega(H_3PO_4)=16{,}8\%$. **930.** $c(H_3PO_3)=2{,}27$ моль/л; $c(H_3PO_4)=0{,}510$ моль/л. **931.** а) 1,44 г; б) 1,12 л; в) 0,993; г) 1,28 г/л. **932.** Уменьшилась на 10,1%. **933.** $\omega(H_3PO_3)=1{,}57\%$; $\omega(HCl)=2{,}10\%$. **934.** 0,764 г **928.** 16,8 г. **929.** 255 г. **930.** Sr. **931.** 1,01% KNO_3; 4,92% Na_3PO_4; 1,07% NH_4Cl. **932.** $c(NaI)=0{,}3$ моль/л; $c(K_3PO_4)=0{,}1$ моль/л; $c(NH_4NO_3)=0{,}2$ моль/л. **933.** Дигидрофосфаты натрия и калия. **934.** 26,7 мл. **943.** $\nu(Ba(H_2PO_4)_2)=0{,}81$ ммоль; $\nu(BaHPO_4)=1{,}38$ моль. **944.** $\omega(NaH_2PO_4)=20{,}8\%$; $\omega(Na_2HPO_4)=61{,}4\%$; $\omega(NaBr)=17{,}8\%$. **944.** $\omega(KH_2PO_4)=3{,}25\%$; $\omega(K_2HPO_4)=2{,}02\%$. **945.** 7,23 г. **946.** 62,7 г. **947.** 50 мл. **948.** 24,6 л. **949.** 6,89 г. **950.** 2,3 г. **951.** $\omega(Na_3PO_4)=14{,}7\%$; $\omega(NaOH)=0{,}494\%$. **952.** $\omega(KH_2PO_4)=9{,}05\%$; $\omega(K_2HPO_4)=1{,}87\%$. **953.** Чистая вода. **954.** $c(NaCl)=0{,}381$ моль/л; $c(NaH_2PO_4)=c(Na_2HPO_4)=0{,}0953$ моль/л. **955.** $\omega(KNO_3)=6{,}90\%$; $\omega(KH_2PO_4)=2{,}32\%$; $\omega(K_2HPO_4)=2{,}97\%$. **987.** 14,3%. **988.** 96,3 л. **989.** 3,06 г. **990.** 10,7 г. **991.** а) 28,6 л; б) 457л. **992.** 2,86 г. **993.** $CaC_2/Al_4C_3=2{,}00$. **994.** 88,2%. **995.** 0,560% $CaCl_2$; 0,737% HCl. **996.** 20% CO. **997.** 112 л. **998.** $\nu(Na_2CO_3)/\nu(NaOH)=5{,}01$. **999.** $\omega(NaOH)=3{,}18\%$; $\omega(Na_2CO_3)=2{,}10\%$; $\omega(Na_2SO_3)=7{,}51\%$. **1000.** Уменьшится в 1,64 раза. **1001.** 1,23 л. **1002.** 16,7% CO_2; 33,3% CO; 50% N_2. **1003.** 37,3% CO_2; 35,6% CO; 27,1% SO_2. **1006.** 4,48 л. **1007.** 2,00 л; 13,2 г. **1008.** В 42,7 раза. **1009.** 0,914 л. **1010.** 125 °C. **1011.** 2,02 г. **1012.** $\omega(NaHCO_3)=1{,}78\%$; $\omega(Na_2CO_3)=5{,}63\%$. **1013.** $m(K_2SO_4)=0{,}87$ г. **1014.** 1,16%. **1015.** 8,78 г. **1016.** 0,929 г. **1017.** а) $0{,}00631:(1-0{,}00262a)$; б) $1{,}59b:(1+0{,}415b)$. **1018.** 16,1 г. **1019.** 1,82 г. **1020.** $\omega(Ca(HCO_3)_2)=16{,}7\%$; $\omega(Ca(HSO_3)_2)=83{,}3\%$. **1021.** 1,58. **1022.** $\omega(K_2CO_3)=1{,}37\%$; $\omega(KHCO_3)=4{,}02\%$. **1023.** $c(KHCO_3)=0{,}133$ моль/л; $c(K_2CO_3)=1$ моль/л. **1024.** $\omega(NaOH)=0{,}747\%$; $\omega(Na_2CO_3)=9;54\%$. **1025.** $\omega(NaCl)=5{,}75\%$; $\omega(NaHCO_3)=3{,}21\%$. **1026.** $c(Na_2CO_3)=0{,}167$ моль/л; $c(KHCO_3)=0{,}0833$ моль/л. **1027.** 0,0618 моль/л K_2SO_3; 0,189 моль/л $KHSO_3$. **1051.** $\omega(C)=22{,}2\%$. **1052.** Mg/Si = 1,81. **1053.** 46,7%. **1061.** 30 г $CaCO_3$; 6 г SiO_2; 5,6 г Si. **1062.** 0,48 г. **1063.** 22,1 г. **1064.** 52,5% Na_2CO_3; 47,5% SiO_2. **1065.** 52,6%. **1066.** 50,2%. **1067.** В 9,5 раза. **1068.** 16,9% силиката; 43,9% карбоната; 39,2% сульфата. **1069.** 20,4%. **1070.** 85,3 мл. **1071.** 0,614 л. **1072.** 4,84% K_2SiO_3; 9,41% K_2CO_3. **1073.** 1,5 л. **1135.** 3,7 кг. **1136.** 4,15 г. **1137.** $m(Na_2CO_3)=0{,}530$ г; $m(NaOH)=0{,}200$ г. **1138.** 17,6 мл. **1139.** 42,8 моль. **1140.** $m(H_2O)=135$ г; $\nu(K)=0{,}402$ моль. **1141.** 2,99 г. **1142.** 1,94 г. **1143.** 5,98 г. **1144.** 92,7%. **1145.** а) 1,92; б) 1,8. **1146.** $m(K_2CO_3)=2{,}76$ г. **1147.** 20,6 г. **1148.** 0,586%. **1149.** 1,05 л. **1150.** 0,475 моль/л. **1151.** $\omega(Na_2O_2)=71{,}6\%$. **1152.** $\omega(Na_2CO_3)=68{,}1\%$; $\omega(NaOH)=17{,}1\%$; $\omega(Na_2O)=14{,}8\%$. **1153.** 29,5 г. **1154.** 0,118 моль. **1155.** 76,0 мл. **1156.** 4 г. **1157.** $\omega(Li_2SO_4)=5{,}90\%$; $\omega(Na_2SO_4)=22{,}9\%$; $\omega(H_2O_2)=5{,}47\%$. **1158.** 9 ммоль. **1159.** 1,79 л. **1160.** Ca^{2+}; Ag^+; NO_3^-. **1162.** $\omega(NaOH)=62{,}5\%$; $\omega(LiOH)=37{,}5\%$. **1163.** Na. **1202.** 4,89 г. **1203.** 3,12 г. **1204.** 10 мл. **1205.** 19,6 г. **1206.** 8,10 г. **1207.** 0,1 моль. **1208.** 23 мг. **1209.** 44,1 г. **1210.** 12,8 г. **1211.** $\omega(NaOH)=10{,}0\%$; $\omega(Na[Al(OH)_4])=7{,}99\%$. **1212.** 64,6%. **1213.** 2,70 г. **1214.** $\omega(Al)=14{,}3\%$. **1215.** 1,67 моль. **1216.** $V(CH_4)=0{,}672$ л.

1217. $\omega(Al_2(SO_4)_3)=3{,}08\%$; $\omega(K_2SO_4)=4{,}72\%$. **1218.** 0,575 моль. **1219.** 50,5%. **1220.** а) 75 ммоль; б) 95 ммоль. **1221.** $m(Al(OH)_3)=3{,}9$ г. **1222.** 58,3 г. **1223.** $c(HCl)=1$ моль/л; $c(AlCl_3)=0{,}5$ моль/л. **1224.** $\omega(AlCl_3)=6{,}33\%$. **1225.** 9,60 г. **1226.** $9{,}03\cdot10^{23}$. **1227.** $\omega(Al_2(SO_4)_3)=31{,}3\%$; $\omega(Al_2S_3)=68{,}7\%$. **1228.** 34,3 г. **1229.** 0,78 г. **1230.** 4,89 г. **1231.** 46,8 мг. **1232.** 0,2 моль/л. **1233.** $m(NaCl)=11{,}8$ г; $m(Na[Al(OH)_4])=15{,}3$ г. **1234.** 6 моль/л. **1236.** 6,13 г. **1237.** 1337 кПа. **1238.** $\nu(KAlO_2)=91{,}9$ ммоль; $\nu(Al_2O_3)=13{,}0$ ммоль. **1239.** Br. **1281.** 2,48 г. **1282.** ν(хромит) $=0{,}02$ моль; $\nu(Na_2CrO_4)=0{,}01237$ моль; $\nu(NaOH)=0{,}02763$ моль; $\nu(Na_2SO_4)=0{,}03$ моль. **1283.** $\nu(Cr_2(SO_4)_3)=0{,}005$ моль; $\nu(Na_2Cr_2O_7)=\nu(Na_2SO_4)=\nu(H_2SO_4)=0{,}0075$ моль. **1284.** 90,8 г. **1285.** 12,3 л. **1286.** а) 3,87 мл; б) 25,8 мл. **1287.** 9,30 мл. **1288.** 20,0 мл. **1289.** $m(Cr(NO_3)_3/m((NH_4)_2Cr_2O_7)=1{,}89$. **1290.** 1,75 г. **1291.** $m(NH_4)_2SO_4)=10{,}6$ г; $m(Cr_2(SO_4)_3)=15{,}7$ г. **1292.** $\omega(NH_4Cl)=4{,}13\%$; $\omega(CrCl_3)=8\%$; остальное — вода. **1293.** $\omega(NaNO_3)=4{,}38\%$; $\omega(Cr(NO_3)_3)=10\%$; остальное — вода. **1294.** 61,8 мг. **1295.** 30,8%. **1296.** 11,3%. **1297.** 18,2%. **1298.** K_2SO_4; $Cr_2(SO_4)_3$ и $MgSO_4$; суммарная масса 18,5 г. **1299.** $c(H_2SO_4)=0{,}00127$ моль/л; $c(Cr_2(SO_4)_3)=0{,}00541$ моль/л. **1300.** 0,369 моль/л. **1301.** m(осадка) $=4{,}48$ г; m(раствора) $=23{,}3$ г. **1302.** Br. **1370.** а) Al/Fe $=1{,}40$; б) Al/Fe $=2{,}80$. **1371.** 0,224 л. **1372.** 40 г. **1373.** 8,00 г. **1374.** 2,24 л. **1375.** 0,897. **1376.** Увеличится на 49,3%. **1377.** $\omega(K_2SO_4)=25{,}8\%$; $\omega(Fe_2(SO_4)_3)=19{,}8\%$. **1378.** $\omega(Fe_2(SO_4)_3)=3{,}9\%$; $\omega(FeSO_4)=3\%$; $\omega(H_2SO_4)=0{,}96\%$. **1379.** ω(Fe) $=89{,}2\%$; ω(Al) $=10{,}8\%$. **1380.** 0,2 моль/л. **1381.** 0,950 л $<V(O_2)<1{,}42$ л. **1382.** $c(FeSO_4)=0{,}1$ моль/л; $c(Fe_2(SO_4)_3)=0{,}05$ моль/л. **1383.** 4,19 г. **1384.** 3,92 л. **1385.** 7,38 г. **1386.** 39,0 г. **1387.** $\omega(FeCl_2)=29{,}7\%$. **1388.** $Fe(NO_3)_3$. **1389.** $\omega(KCl)=13{,}3\%$; $\omega(FeCl_3)=5\%$; остальное — вода. **1390.** $FeCl_2$. **1391.** $\omega(FeCl_2)=23{,}5\%$. **1392.** 1,89 г. **1393.** Mg/Fe $=9{,}67$. **1394.** $\nu(Fe)/\nu(Fe_3O_4)=7$. **1395.** 70,0 г. **1396.** 5,00 г. **1397.** 179 г. **1398.** 8,16% $FeSO_4$; 5,37% $Fe_2(SO_4)_3$. **1399.** 26,0 г. **1400.** 25,2%. **1401.** $Fe(NO_3)_2$. **1402.** $Fe(NO_3)_2$. **1403.** Уменьшится в 2 раза. **1404.** Fe_3C; Fe_3O_4. **1457.** В 5,13 раза. **1458.** 0,747 л. **1459.** $1{,}81\cdot10^{23}$. **1460.** $8{,}53\cdot10^{22}$. **1461.** Cu_2O. **1462.** $\nu(CuO)/\nu(FeO)=2$. **1463.** 17,7 мл. **1464.** $\omega(Cu)=84\%$. **1465.** Увеличится на 1,5 г. **1466.** 1,84 моль. **1467.** 2,76 мл. **1468.** 4,6. **1469.** 34,2 г. **1470.** 5,28 моль. **1471.** 28,9%. **1472.** 50,3 г. **1473.** $\omega(Cu(NO_3)_2)=13{,}9\%$. **1474.** От 1,44 до 1,60. **1475.** Не выдержит ($p=882$ кПа). **1517.** 128 г. **1518.** $\omega(NH_4NO_3)=0{,}189\%$; $\omega(Zn(NO_3)_2)=1{,}80\%$. **1519.** 0,115 г. **1520.** $\omega(H_2SO_4)=9{,}07\%$; $\omega(ZnSO_4)=2{,}43\%$; $\omega(FeSO_4)=2{,}66\%$. **1521.** $\omega(FeCl_2)=2{,}95\%$; $\omega(ZnCl_2)=2{,}72\%$; $\omega(HCl)=11{,}5\%$. **1522.** $\omega(Na_2SO_4)=1{,}91\%$; $\omega(ZnSO_4)=13{,}0\%$. **1523.** 0,439 л. **1524.** 104 мл. **1525.** 4,39 мл. **1526.** 52,0 г. **1527.** $\omega(FeS)=48{,}2\%$; $\omega(ZnS)=51{,}8\%$. **1528.** 166 г. **1529.** 8,28 мл. **1530.** а) 10,0 мл; б) 18,0 мл. **1531.** $\nu(LiCH_3COO)=0{,}492$ моль; $\nu(Li_2[Zn(OH)_4])=0{,}129$ моль; $\nu(Zn(OH)_2)=0{,}117$ моль. **1532.** ω(Zn) $=25{,}3\%$. **1533.** 3,33 : 1. **1534.** 49,2 мл. **1535.** 236 г. **1536.** 224 г. **1537.** $\omega(H_2SO_4)=6{,}08\%$; $\omega(ZnSO_4)=4{,}99\%$; $\omega(FeSO_4)=14{,}1\%$. **1538.** 13,4%. **1539.** 0,423 моль/л. **1540.** 0,667 моль/л. **1541.** $FeBr_2$. **1542.** $FeSO_4$. **1543.** 45 мл. **1544.** $\omega(ZnBr_2)=6{,}77\%$. **1545.** 12,5 л. **1546.** ω(Cu) $=6{,}9\%$; ω(Fe) $=43{,}1\%$; ω(Zn) $=50{,}0\%$. **1547.** ω(Ag) $=45{,}4\%$; ω(Cr) $=36{,}4\%$; ω(Zn) $=18{,}2\%$.

1881. 1,63%. **1882.** 87,3%. **1883.** $\nu(FeBr_2)/\nu(FeBr_3)=1{,}88$. **1884.** 90,7%. **1885.** 61,8%. **1886.** В 2,34 раза. **1887.** 9,93 мл. **1888.** 12,4 г/моль. **1889.** $\omega(NH_3)=3{,}38\%$; $\omega(K_2SO_4)=6{,}71\%$; $\omega((NH_4)_2SO_4=5{,}09\%$. **1890.** 1,03 г. **1891.** $\omega(Na_3PO_4)=10{,}2\%$; $\omega(NaOH)=7{,}43\%$. **1892.** $\omega(Na_2CO_3)=12{,}2\%$; $\omega(NaOH)=4{,}38\%$. **1893.** 48 г. **1894.** Li. **1895.** 52,7%. **1896.** 101 г. **1897.** Li. **1899.** $\omega(NH_4Cl)=4{,}16\%$; $\omega(CHI)=$ $=4{,}26\%$. **1900.** 19,6%. **1901.** Ca. **1902.** 19,9 л. **1903.** 22,6 г. **1904.** $\omega(FeCl_2)=6{,}13\%$. **1905.** Масса раствора серной кислоты должна быть в 6,54 раза больше. **1906.** 200 мл. **1907.** Br. **1908.** Ba. **1909.** Fe; Cu. **1911.** 3,06%. **1912.** $\omega(ZnCl_2)=$ $=76{,}2\%$; $\omega(NaCl)=23{,}8\%$. **1973.** Этан. **1974.** Метан. **1976.** Пентан. **1977.** Пентаны (3 изомера). **1978.** Метилпропан. **1979.** Пропан. **1980.** 16,4 г. **1981.** 23,9 л. **1982.** 74,7 л. **1983.** 13,5 л. **1984.** Бутан 25,5%. **1985.** 5,32 г. **1986.** 7,45% O_2; 8,51% CO_2; 84% N_2. **1987.** 3,1% O_2; 11,2% CO_2; 85,7% N_2. **1988.** 11,0% O_2; 6,26% CO_2; 82,7% N_2. **1989.** 7,9% O_2; 8,2% CO_2; 83,9% N_2. **1990.** 419 г. **1991.** 17,9%. **1992.** 50,9 г. **1993.** 72,1 г. **1995.** 13,0 г. **1996.** 25,4 мл. **1997.** 70,1%. **1998.** 16,7 г. **2000.** Этан 13,4 кг; этен 12,5 кг. **2001.** 74,4%. **2002.** 0,286 г. **2003.** 0,246 л. **2005.** 74,4%. **2006.** 1,45 л. **2007.** $\varphi(C_2H_6)=18{,}2\%$ и $\varphi(O_2)=81{,}8\%$; $\varphi(CO_2)=66{,}7\%$ и $\varphi(O_2)=33{,}3\%$. **2008.** Пропан. **2009.** Диметилпропан. **2010.** $\varphi(C_4H_{10})=11{,}1\%$ и $\varphi(O_2)=88{,}9\%$; $\varphi(CO_2)=72{,}7\%$ и $\varphi(O_2)=27{,}3\%$. **2011.** 0,58 г бутана. **2012.** 32,0% этана; 68,0% бутана. **2013.** 63,4% CO_2; 36,6% H_2O. **2014.** а) 69,6 кДж; б) 48,8 кДж. **2018.** $\omega(CH_4)=52{,}5\%$; $\omega(C_4H_{10})=47{,}5\%$. **2019.** $\omega(C_4H_{10})=73{,}1\%$; $\omega(C_6H_{14})=$ $=26{,}9\%$. **2020.** $\omega(C_6H_{14})=32{,}8\%$; $\omega(C_3H_8)=67{,}2\%$. **2118.** Пропен. **2121.** 16,8 л. **2122.** 28,4% этана; 71,6% пропена. **2123.** 6,4 моль. **2124.** 2,35 л. **2125.** Метилпропандиол-1,2; бутандиол-1,2; бутандиол-2,3. **2126.** *цис-* и *транс*-изомеры бутена-2 $CH_3-CH=CH-CH_3$. **2127.** Метилпропен. **2128.** 5. **2129.** Бутен-2 и пентен-2. **2130.** Пропен. **2131.** Пропен. **2132.** Этилен и гексен-3. **2133.** 6%. **2134.** 10,4%. **2135.** 84,4%. **2136.** ω(дибромбутан)$=6{,}46\%$; ω(пропан)$=0{,}761\%$; ω(бутен)$=$ $=1{,}82\%$; $\omega(CCl_4)=90{,}9\%$. **2137.** 0,755. **2138.** 75,0%. **2139.** В 1,23 раза. **2140.** $\omega(C_3H_8)=15{,}6\%$; $\omega(N_2)=9{,}94\%$; $\omega(C_3H_6)=74{,}5\%$. **2141.** 57,1%. **2142.** 48,9 л. **2143.** 27,4%. **2144.** $\nu(CH_2=CHBr)=\nu(CH_3-CHBr_2)=0{,}00125$ моль. **2145.** 9,3% бутина. **2146.** 16,6% бутина. **2147.** 28 г. **2148.** 15,2%. **2149.** 3,15 г. **2150.** 90,3%. **2151.** 112 кг. **2152.** Выход в первой реакции 90%; во второй реакции 45%. **2153.** 47,1%. **2154.** 80%. **2155.** 48,8 г. **2156.** Этан и ацетилен по 42,9%; этилен 14,2%. **2157.** 3-Метилбутин-1. **2158.** Бутин-2; 2,2-дихлорбутан. **2159.** 64 л. **2160.** 320 л. **2161.** 11,2 л. **2162.** 17,5 л. **2163.** Ацетилен и пропин. **2164.** Исходная 9,00; конечная 2,65. **2165.** 37,5%. **2166.** 87,5%. **2167.** φ(пропен)$=66{,}7\%$; φ(бутадиен)$=33{,}3\%$. **2168.** 1,53 л. **2169.** 67,5 г. **2170.** 6,52 г. **2172.** $\varphi(CH_4)=60\%$; $\varphi(C_2H_2)=40\%$. **2173.** $m(Al_4C_3)=14{,}4$ г; $m(CaC_2)=19{,}2$ г. **2174.** 1,2-Дихлорпропан; пропин. **2176.** Дихлорбутан. **2177.** Дихлорбутан. **2250.** ω(этан)$=6{,}63\%$; ω(циклопропан)$=9{,}28\%$. **2251.** 8,8 г. **2252.** 11,3 г. **2253.** 79%. **2254.** 0,140 г. **2256.** Уменьшится в 2,9 раза. **2257.** 19. **2258.** φ(дихлорбутан)$=\varphi$(дибромэтан)$=\varphi$(циклопентан)$=30\%$; φ(бутадиен)$=10\%$. **2260.** 40 мл. **2261.** 5,95 л. **2262.** 80%. **2263.** 28,8 л. **2264.** 44,3 мл. **2265.** 40,4%. **2266.** 80%. **2268.** 47,8 г. **2269.** Молярная доля диметилбензола 0,797. **2270.** 80,4%. **2271.** 62,1%. **2272.** 60%. **2273.** ω(метилциклопентан)$=18{,}3\%$; ω(стирол)$=81{,}7\%$. **2274.** ω(бутен)$=8{,}32\%$; ω(бромбутан)$=49{,}1\%$. **2275.** В 1,41 раза. **2276.** 341 л. **2278.** *п*-Ксилол. **2279.** $C_6H_5-CH_2-CH=CH_2$ или

$C_6H_5-CH=CH-CH_3$. **2280.** 16,1 г. **2281.** 34,8 г. **2282.** $\omega(C_6H_5CH_3)=35{,}9\%$; $\omega(C_6H_5C_2H_5)=64{,}1\%$. **2283.** 0,8 л. **2284.** ω(изофталат калия) = 2,84%; $\omega(KOH)=1{,}32\%$. **2285.** ω(бензоат калия) = 1,58%; ω(терефталат калия) = 0,793%; $\omega(KOH)=0{,}906\%$. **2286.** $\varphi(C_4H_8Br_2)=50\%$; $\varphi(C_4H_6)=30\%$; $\varphi(C_3H_6)=10\%$; $\varphi(C_6H_5CH_3)=10\%$. **2287.** φ(дибромэтан) = 30%; φ(пропин) = φ(бутен) = 20%; φ(бензол) = 30%. **2288.** Все соединения по 25%. **2329.** В 23,8 раза. **2330.** Циклобутен. **2331.** Циклобутан. **2332.** 140 мл. **2333.** Стирол. **2334.** 60,6%. **2335.** 23,7 мл. **2336.** 6,80 г пентадиена; 24,6 г циклогексена. **2337.** 17,0 г циклопентена; 33,6 г гептадиена. **2391.** 3,28 мл. **2392.** 3,00 г. **2392.** 2-Бром-2-метилбутан. **2394.** $\omega(NaOH)=2{,}92\%$; $\omega(C_2H_5ONa)=0{,}951\%$; $\omega(C_2H_5OH)=96{,}1\%$. **2395.** 0,304 моль метанола; 0,279 г калия. **2396.** 0,56 л. **2397.** 17,0 г. **2398.** $\omega(C_2H_5OH)=51{,}9\%$; $\omega(C_3H_7OH)=48{,}1\%$. **2400.** Бутанол-2. **2401.** Бутанол-2. **2402.** 60 г. **2403.** m(пропен) = 8,4 г; m(дипропиловый эфир) = 25,5 г. **2404.** ν(бутен-2) = 0,03 моль; ν(ди-*втор*-бутиловый эфир) = 0,06 моль. **2405.** 2-Метилпропен-2-ол-1. **2406.** Метилпропанол-1. **2407.** $C_5H_{12}O_3$; $HO-CH_2-CH(OH)-CH(OH)-CH_2-CH_3$. **2409.** $CH_3-CHBr-CH_2-CH_3$. **2410.** 0,5 моль. **2411.** C_5H_8O (4 формулы). **2412.** 90,2 г. **2413.** 0,940 г. **2414.** $\varphi(H_2)_{исх}=87{,}2\%$; $\varphi(H_2)_{итог}=84{,}9\%$. **2415.** 57,5%. **2416.** 3,92 л. **2417.** 24,3 г. **2418.** Диэтиловый эфир, *н*-бутилэтиловый эфир, ди-*н*-бутиловый эфир. **2419.** Дипропиловый эфир, дипентиловый эфир, пентилпропиловый эфир. **2420.** Диметиловый; бутилметиловый; дибутиловый; изобутилметиловый; диизобутиловый эфиры. **2421.** $\omega(K_2SO_4)=13{,}65\%$; $\omega(KOH)=0{,}146\%$. **2422.** $\omega(K_2SO_4)=8{,}25\%$; $\omega(MnSO_4)=0{,}922\%$. **2451.** 87,3%. **2452.** 29,2 л. **2453.** 2,00%. **2454.** 18,8 г фенола; 10,4 г стирола. **2455.** ω(фенол) = 37,6%. **2456.** 8,95%. **2457.** ω(фенол) = 36,3%. **2458.** 22,5%. **2459.** ω(спирт) = 60,0%. **2460.** $\omega(C_6H_5OH)=64{,}4\%$. **2461.** m(крезол) = 2,16 г; m(толуол) = 2,10 г. **2462.** 5,35 моль. **2463.** ν(2,4-диметилфенол) : ν(3,5-диметилфенол)-2 : 1. **2464.** Фенол/гомолог 2 : 3. **2465.** *орто*-Крезол или *пара*-крезол. **2466.** 2,4-Ксиленол или 2,6-ксиленол. **2468.** 3-Этилфенол. **2469.** 1,2,3-; 1,2,4-; 1,3,5-тригидроксибензолы. **2470.** Метилэтилфенол. **2471.** 1,2,3,4-; 1,2,4,5-; 1,3,4,5-тетрагидроксибензолы. **2472.** 73,6 кДж. **2473.** 29,8 кДж. **2529.** 52,5 г. **2530.** 30%. **2531.** 3,87 г $< m <$ 3,95 г. **2532.** 11,6 г. **2533.** ω(ацетальдегид) = 15,5%; ω(формальдегид) = 5,28%. **2534.** В 11,1 раза. **2535.** 88,2%. **2536.** 5,4 г. **2537.** 24,1 г. **2538.** ω(спирт) = 66,7%; ω(альдегид) = 33,3%. **2539.** ω(непредельный двухатомный спирт) = 66,7%; ω(кетоноспирт) = 33,3%. **2540.** 46,4 г. **2542.** 6,42 л. **2543.** 9,29 г. **2544*.** 87,9 г. **2545*.** 74,1 мл. **2546.** Метилпропаналь. **2547.** Бутен-2-аль (*цис-* и *транс-*); бутен-3-аль; метилпропеналь. **2548.** Метилпропаналь. **2549.** Ацетон и пропаналь. **2550.** Диметилпропандиаль. **2551.** 4-Гидроксибутен-2-аль и 2-гидроксибутен-3-аль. **2552.** Пропандиолы. **2553.** Пропандиаль. **2554.** Пропенол, пропаналь. **2555.** 25,0%. **2556*.** Цикло-$C_5H_9-CH_2OH$; 80%. **2557*.** Циклогексанол; 66,7%. **2558*.** $C_6H_5-CH(OH)-CH_3$; 66,7%. **2559.** 1,12 л. **2560.** а) 0,0690; б) 0,346; в) 0,543. **2561.** 0,631. **2562.** а) 0,354 г/л; б) 0,529 г/л. **2563.** 75%. **2564.** 14,7%. **2626.** 167 г. **2627.** 3,25 г ангидрида; 496,75 г воды. **2628.** 15,8 г. **2629.** 93,5%. **2630.** 60,4%. **2631.** ω(этаналь) = 8,73%. **2632.** 87,5%. **2633.** 130 мл. **2634.** 10,7 г. **2635.** 2,93 г. **2636.** 2,06 г. **2637.** $\nu(HCOOH)/\nu(H_2O)=0{,}026$; $\nu(HCl)/\nu(H_2O)=0{,}034$. **2638.** $\omega(CH_3COOH)=45{,}3\%$; $\omega(C_2H_5OH)=13{,}9\%$. **2639.** $7{,}22\cdot10^{22}$. **2640.** $\omega(HCOOH)=14{,}1\%$; $\omega(CH_3COOH)=46{,}6\%$. **2641.** 1,98 моль/л. **2643.** Фенол 6,28%; уксусная кислота 1,90%. **2644.** Кислота 75%. **2645.** 2,01 г. **2646.** 80,4%. **2647.** $\omega(MgCl_2)=$

= 6,39%; $\omega(Mg(CH_3COO)_2) = 1,60\%$. **2648.** $m(ZnSO_4 \cdot 7H_2O) = 43,9$ г; $m(Zn(HCOO)_2 \times 2H_2O) = 8,96$ г. **2649.** 65,4%. **2650.** 4,70 г Na; 4,83 г NaOH. **2651.** $m(K) = 7,42$ г; $m(KOH) = 5,79$ г. **2652.** 2,76 г. **2653.** 2,63 г. **2654.** $CH_3-CH(OH)-CH(OH)-COOH$. **2655.** Линоленовая кислота или ее изомер. **2656.** Уксусная кислота 35,7%. **2657.** 0,512 л. **2658.** Один из изомеров $CH_3-CH(OH)-COOH$ 0,04 моль; один из изомеров $CH_3-CH_2-CH(OH)-COOH$ 0,04 моль. **2659.** Акриловая 0,015 моль; один из изомеров $CH_3-CH=CH-COOH$ 0,035 моль. **2660.** Щавелевая 0,06 моль; малоновая 0,04 моль. **2661.** Один из изомеров $CH_3-CH=CH-COOH$ 0,03 моль; один из изомеров $CH_3-CH_2-CH-CH-COOH$ 0,06 моль. **2662.** HCOOH 0,3 моль; CH_3COOH 0,1 моль. **2663.** C_2H_5COOH 0,15 моль; C_3H_7COOH 0,25 моль. **2664.** C_2H_5COOH 0,15 моль; CH_3COOH 0,1 моль. **2665.** Масляная кислота. **2666.** Винилуксусная, (*цис-*, *транс-*) кротоновая, метакриловая. **2667.** $c(NaOH) = c(HO-CH_2-COONa) = 0,04$ моль/л. **2668.** 2010 кДж. **2669.** 14,6 кДж. **2736.** 3,55 л. **2738.** 74,8%. **2739.** 624 л. **2740.** 5,04 л. **2741.** 32,9 мл. **2742.** 0,672 моль. **2743.** 83,3 г. **2744.** 18,5% Метилформиата. **2745.** Уксусная кислота 84,5%. **2746.** 0,09 моль. **2747.** 4,05 г. **2748.** 0,417 моль. **2749.** Винилацетат/этилацетат 1 : 2. **2750.** 75%. **2751.** 70%. **2752.** KOH. **2753.** 1,55 г/л. **2754.** 89,3 мл. **2755.** 43,5 г. **2756.** Эфир 25%. **2757.** 16,5 г. **2758.** 44,2 г. **2759.** 128 г. **2760.** 4,6 г. **2762.** Этилформиат. **2763.** Этилформиат. **2764.** Изобутиловый эфир изомасляной кислоты. **2765.** Один остаток масляной кислоты. **2766.** Два остатка уксусной кислоты. **2767.** CH_3COOH. **2768.** Аллилформиат. **2769.** Пропилпропионат или изопропилпропионат. **2771.** Метилгликолят. **2772.** Янтарная кислота или метилмалоновая кислота. **2773.** Пропионовая кислота. **2775.** Метилакрилат. **2776.** Пировиноградная кислота. **2777.** Метилформиат. **2778.** 4-Оксобутановая кислота. **2812.** 0,231%. **2813.** 7,95 г. **2814.** Глицерин 10,5 г; олеиновая кислота 96,9 г. **2815.** 80%. **2816.** 85,8%. **2817.** 13,8 г. **2818.** 28,2 г. **2819.** 584 г. **2820.** 68,4%. **2821.** 74,3%. **2822.** Три остатка $C_{15}H_{29}$. **2823.** 1 : 1. **2824.** 1 : 6. **2825.** 1 : 2. **2826.** 161 л. **2827.** 2 остатка линоленовой кислоты. **2828.** 864 г/моль. **2829.** 826 г/моль. **2830.** Вариант: 1 остаток стеариновой, 2 остатка олеиновой; $M_r = 886$. **2831.** Вариант: 2 остатка пальмитиновой, 1 остаток пальмитолеиновой, 804 г/моль. **2833.** Вариант: 2 остатка линолевой, 1 остаток олеиновой; $M = 880$ г/моль. **2834.** 2 остатка пальмитиновой, 1 остаток стеариновой. **2835.** 2 остатка олеиновой + 1 остаток пальмитиновой. **2836.** Миристиновой кислоты. **2837.** 3,11 моль. **2838.** 1,9 моль. **2839.** 765 г. **2840.** 11,9 г. **2953.** 42,1 г. **2954.** 32,7 г. **2955.** η (маслянокислое брожение) = 1,96%. **2956.** 69,1%. **2957.** 0,3 г. **2958.** 40,0%. **2959.** Выход реакции молочнокислого брожения 40,9%. **2960.** Выход реакции молочнокислого брожения 36,7%. **2961.** Брожение 57,7%; внутримолекулярная дегидратация 23,4%; межмолекулярная дегидратация 70,1%. **2962.** 2 остатка уксусной и 1 остаток капроновой. **2963.** 3,31 г или 4,49 г. **2964.** $C_{13}H_{20}O_7$ (один ацетат и два пропионата). **2965.** $C_{18}H_{26}O_{11}$ (два пропионата и три ацетата). **2966.** Эфиры образованы остатками уксусной кислоты. **2967.** 13,3 г. **2968.** Дезоксирибоза. **2969.** 12,5 г. **2970.** 66,7%. **2971.** ω (рибоза) = 19,6%. **2972.** Дезоксирибоза. **2973.** 2820 кДж/моль. **3182.** Бутандиолы и простые эфиры. **3183.** В кислоту 42,3%; в альдегид 57,7%. **3184.** От 14,4 г до 21,1 г. **3185.** От 18,0 до 35,3 г. **3186.** 9,72 г. **3187.** 33,0 г. **3188.** 1,74 м^3. **3189.** Бутин-1 и метилпропен. **3192.** Дипропиловый эфир. **3193.** 7,5 г. **3194.** Выход дегидратации больше в 1,64 раза. **3195.** ω (формальдегид) = 25,6%; ω (пропаналь) = 74,4%. **3196.** 25%. **3242.** 18,4 г. **3243.** Хлорид диметиламина

19,9%; HCl 4,45%. **3244.** 1,47 л. **3245.** В 15,2 раза. **3246.** В 2,29 раза. **3247.** C_2H_6 25%. **3248.** 18,0%. **3249.** 31,6%. **3250.** 2,47 л. **3251.** Хлорид диамина 9,34%; дихлорид диамина 12,9%. **3252.** 47,6%. **3253.** Бутиламины. **3254.** 8,14%. **3255.** 12,3%. **3256.** 1,16 г/л. **3257.** 1,15. **3258.** 1,1 г/л. **3259.** 0,986 г/л. **3260.** 1,08 г/л. **3261.** 1,14 г/л. **3262.** 0,641. **3263.** Увеличится в 1,09 раза. **3264.** Этиламин 80%. **3265.** Метиламин 19,5%. **3266.** а) CH_4 и HCl по 50%; б) 21,9% CH_4; 78,1% CH_3NH_2. **3267.** Этан 20%. **3268.** 9,07%. **3269.** 17,9 г. **3270.** ν(Анилин) : ν(Дивинилбензол) = 3,33 : 1. **3273.** До 10,1%; после 11,0%. **3274.** 0,339 л. **3275.** 8,52 г. **3276.** 3,39 л. **3277.** Уменьшится в 6,5 раза. **3278.** 56,7 г. **3279.** 12,1 л. **3280.** Увеличится на 4,3 г. **3281.** Диметилфениламин; 90,2%. **3330.** ω(Na—аланин) = 5,33%; $\omega(NaHCO_3)$ = 2,02%. **3331.** 0,762% NaOH; 4,84% серин-Na. **3332.** ω(дикалиевой соли тирозина) = 3,07%; ω(калиевой соли тирозина) = 2,62%. **3333.** 2,49% калиевой соли; 5,99% дикалиевой соли. **3334.** 4,99% хлорида; 3,08% дихлорида. **3335.** 0,123 г. **3336.** 1,52 л. **3337.** 37,8 г. **3338.** m(KOH) = 0,056 г; m(дикалиевой соли тирозина) = 0,514 г; m(калиевой соли фенилаланина) = 0,102 г. **3339.** m_{max} = = m(динатриевой соли тирозина) = 22,5 г; $\nu_{max} = \nu$(натриевой соли аланина) = 0,2 моль. **3340.** По количеству вещества NaCl; по массе — Lys · 2HCl. **3341.** 7,32 г. **3342.** 49,7 г. **3343.** 5,6 л. **3344.** 1,36 г. **3345.** 1,02 л. **3346.** 13,9 мл. **3347.** 15,6 г натриевой соли аланина; 28,4 г натриевой соли фенилаланина; 21,8 г мононатриевой соли тирозина; 22,5 г динатриевой соли тирозина. **3348.** c(Gly—HCl) = = 0,0431 моль/л; c(Ser—HCl) = 0,0769 моль/л; 0,04 моль/л HCl. **3349.** ω(KCl) = = 3,80%; $\omega(K_2SO_4)$ = 3,47%; ω(Gly—K) = 2,25%; ω(KOH) = 9,70%. **3350.** 57,5 мл. **3351.** 129 мл. **3352.** 220 мл. **3353.** 556 мл. **3354.** 1,87 л. **3355.** 10 мл. **3356.** 69,1%. **3357.** 3,24% дисульфата лизина; 2,97% сульфата триметиламина; 0,139% H_2SO_4. **3358.** Диэтиловый эфир глутаминовой кислоты. **3359.** 10,6 г. **3360.** Изопропиловый эфир лизина. **3361.** Эфир уксусной кислоты и тирозина. **3362.** Изопропиловый эфир аланина. **3363.** 80,8 мл. **3364.** V(KOH) = 3,59 мл; m = 2,48 г. **3365.** 40,5 мл. **3366.** 41,3 г. **3367.** Пропиловый или изопропиловый эфир аминомасляной кислоты (α-; β- или γ-). **3368.** 6,19 г. **3369.** 12,8 мл. **3395.** 30,9 г. **3396.** 7,63 г. **3397.** 7,94 г натриевой соли серина; 14,1 г динатриевой соли тирозина. **3398.** 4,04 г. **3399.** 2,77 г калиевой соли лизина; 3,06 г калиевой соли фенилаланина. **3400.** 60,8 г соли аланина и азотной кислоты; 84,0 г соли глутаминовой кислоты и азотной кислоты. **3401.** Один остаток аланина и два остатка лизина. **3402.** 5,78 г. **3403.** Аланилаланин. **3404.** Фенилаланилфенилаланин. **3405.** Глицилглицилглицин. **3406.** Фенилаланилфенилаланилфенилаланин. **3407.** Лизилфенилаланин или фенилаланиллизин; 117 г. **3408.** Цистеилцистеин; 5,60 г. **3409.** Лизилглутаминовая кислота или глутамиллизин; 6,88 г. **3410.** Цистеиллизин или Лизилцистеин; на 0,342 г. **3411.** Лизилглициллизин или лизиллизилглицин или глициллизиллизин; 5,96 г. **3412.** Остатки аланина и α-аминомасляной кислоты; 8,70 г. **3413.** Глутамилсерин или серилглутаминовая кислота; 6,30 г. **3414.** Глутамилглицин или глицилглутаминовая кислота; на 2,16 г. **3463.** ω(пиррол) = ω(пиридин) = 3,33%; $\omega(C_2H_5OH)$ = = 30,0%; $\omega(H_2O)$ = 63,3%. **3464.** c (пиридинсульфат) = 0,0667 моль/л. **3465.** ω(пиридингидросульфат) = 7,95%; $\omega(H_2SO_4)$ = 2,06%. **3466.** ω(HCl) = 3,46%; $\omega(C_5H_5N \times$ $\times$ HCl) = 14,9%. **3467.** 21,0 г бромида диметиламмония; 5,33 г бромида пиридиния. **3468.** 4,89 л. **3469.** 18,6%. **3470.** 26,7 г. **3471.** 29,7 г. **3472.** ω(анилин) = 18,0%; ω(пиррол) = 45,7%; ω(фенол) = 36,3%. **3473.** ω(Gly) = 8,9%; ω(пиридин) = 18,7%; ω(этанол) = 72,4%. **3474.** ω(пиридин) = 36,2%; ω(бензол) = 17,8%; ω(пиррол) = = 46,0%. **3475.** ω(пиридин) = 35,1%; ω(стирол) = 23,1%; ω(фенол) = 41,8%.

3476. ω(пиридин) = 16,2%; ω(Glu) = 60,2%; ω(HCOOH) = 23,6%. **3477.** ω(пиридин) = 48,5%; ω(пропанол) = 22,1%; $\omega(CH_3COOH)$ = 29,4%. **3478.** ω(пиррол) = = 31,4%; ω(Lys) = 34,3%; ω(диэтиламин) = 34,3%. **3479.** 40,5%. **3480.** В 1,05 раза. **4281.** В 1,19 раза. **3482.** Алкиланилина 20%. **3483.** 16,6 л. **3484.** 32,4 л. **3485.** 69,7 мл. **3486.** Пиримидин. **3487.** Пиррол. **3489.** Имидазол. **3490.** Метилпиридин. **3491.** $C_7H_{10}N_2$; всего 7 изомеров. **3492.** В боковых цепях 3 атома. **3493.** 2-Метилпурин, 6-метилпурин, 8-метилпурин, 9-метилпурин. **3494.** Пропилпиримидины, изопропилпиримидины, метилэтилпиримидины, триметилпиримидины. **3495.** Этилнитропиридин. **3496.** Этилпирролы (3 изомера), диметилпирролы (6 изомеров). **3497.** Этилнитропиримидины и диметилнитропиримидины. **3498.** Метиладенин. **3499.** В боковых цепях 3 атома. **3500.** Метилпирролидин. **3501.** Метиламинопиримидин. **3502.** 87,9%. **3503.** Дезоксигуанозинфосфат. **3504.** 15,0 г. **3505.** Тимидин. **3506.** Уридин. **3507.** 17,0 г.

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

ПЕРИОДЫ	РЯДЫ	ГРУППЫ I	II	III	IV	V
1	I	**H** 1 1,00794 $1s^1$ ВОДОРОД				
2	II	**Li** 3 6,94$_1$ $2s^1$ ЛИТИЙ	**Be** 4 9,01218 $2s^2$ БЕРИЛЛИЙ	5 **B** 10,81 $2p^1$ БОР	6 **C** 12,011 $2p^2$ УГЛЕРОД	7 **N** 14,0067 $2p^3$ АЗОТ
3	III	**Na** 11 22,98977 $3s^1$ НАТРИЙ	**Mg** 12 24,305 $3s^2$ МАГНИЙ	13 **Al** 26,98154 $3p^1$ АЛЮМИНИЙ	14 **Si** 28,085$_5$ $3p^2$ КРЕМНИЙ	15 **P** 30,97376 $3p^3$ ФОСФОР
4	IV	**K** 19 39,098$_3$ $4s^1$ КАЛИЙ	**Ca** 20 40,08 $4s^2$ КАЛЬЦИЙ	**Sc** 21 44,9559 $3d^14s^2$ СКАНДИЙ	**Ti** 22 47,90 $3d^24s^2$ ТИТАН	**V** 23 50,9415 $3d^34s^2$ ВАНАДИЙ
	V	29 **Cu** 63,54$_6$ $3d^{10}4s^1$ МЕДЬ	30 **Zn** 65,38 $4s^2$ ЦИНК	31 **Ga** 69,72 $4p^1$ ГАЛЛИЙ	32 **Ge** 72,5$_9$ $4p^2$ ГЕРМАНИЙ	33 **As** 74,9216 $4p^3$ МЫШЬЯК
5	VI	**Rb** 37 85,467$_8$ $5s^1$ РУБИДИЙ	**Sr** 38 87,62 $5s^2$ СТРОНЦИЙ	**Y** 39 88,9059 $4d^15s^2$ ИТТРИЙ	**Zr** 40 91,22 $4d^25s^2$ ЦИРКОНИЙ	**Nb** 41 92,9064 $4d^45s^1$ НИОБИЙ
	VII	47 **Ag** 107,8682 $5s^1$ СЕРЕБРО	48 **Cd** 112,41 $5s^2$ КАДМИЙ	49 **In** 114,82 $5p^1$ ИНДИЙ	50 **Sn** 118,6$_9$ $5p^2$ ОЛОВО	51 **Sb** 121,7$_5$ $5p^3$ СУРЬМА
6	VIII	**Cs** 55 132,9054 $6s^1$ ЦЕЗИЙ	**Ba** 56 137,33 $6s^2$ БАРИЙ	57**La**—**Lu**71 *	**Hf** 72 178,4$_9$ $5d^26s^2$ ГАФНИЙ	**Ta** 73 180,947$_9$ $5d^36s^2$ ТАНТАЛ
	IX	79 **Au** 196,9665 $5d^{10}6s^1$ ЗОЛОТО	80 **Hg** 200,5$_9$ $6s^2$ РТУТЬ	81 **Tl** 204,383 $6p^1$ ТАЛЛИЙ	82 **Pb** 207,2 $6p^2$ СВИНЕЦ	83 **Bi** 208,9804 $6p^3$ ВИСМУТ
7	X	**Fr** 87 223,0197 $7s^1$ ФРАНЦИЙ	**Ra** 88 226,0254 $7s^2$ РАДИЙ	89**Ac**—**Lr** 103 **	104 [261] $6d^27s^2$	105 [262] $6d^37s^2$

* ЛАНТАНИДЫ

La 57 138,905$_5$ $5d^16s^2$ ЛАНТАН	**Ce** 58 140,12 $4f^26s^2$ ЦЕРИЙ	**Pr** 59 140,9077 $4f^36s^2$ ПРАЗЕОДИМ	**Nd** 60 144,2$_4$ $4f^46s^2$ НЕОДИМ	**Pm** 61 [145] $4f^56s^2$ ПРОМЕТИЙ	**Sm** 62 150,4 $4f^66s^2$ САМАРИЙ	**Eu** 63 151,96 $4f^76s^2$ ЕВРОПИЙ	**Gd** 64 157,2$_5$ $4f^75d^16s^2$ ГАДОЛИНИЙ

** АКТИНИДЫ

Ac 89 227,0278 $6d^17s^2$ АКТИНИЙ	**Th** 90 232,0381 $6d^27s^2$ ТОРИЙ	**Pa** 91 231,0359 $5f^26d^17s^2$ ПРОТАКТИНИЙ	**U** 92 238,02$_9$ $5f^36d^17s^2$ УРАН	**Np** 93 237,0482 $5f^46d^17s^2$ НЕПТУНИЙ	**Pu** 94 244,0642 $5f^67s^2$ ПЛУТОНИЙ	**Am** 95 243,0614 $5f^77s^2$ АМЕРИЦИЙ	**Cm** 96 247,0703 $5f^76d^17s^2$ КЮРИЙ

ЭЛЕМЕНТОВ Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА

Э Л Е М Е Н Т О В

VI	VII	VIII		
	H			2 **He** 4,00260 $1s^2$ ГЕЛИЙ
8 **O** 15,999$_4$ 2 6 $2p^4$ КИСЛОРОД	9 **F** 18,998403 2 7 $2p^5$ ФТОР			10 **Ne** 20,17$_9$ 2 8 $2p^6$ НЕОН
16 **S** 32,06 2 8 6 $3p^4$ СЕРА	17 **Cl** 35,453 2 8 7 $3p^5$ ХЛОР			18 **Ar** 39,94$_8$ 2 8 8 $3p^6$ АРГОН
Cr 24 51,996 1 13 $3d^5 4s^1$ ХРОМ	**Mn** 25 54,9380 2 13 $3d^5 4s^2$ МАРГАНЕЦ	**Fe** 26 55,84$_7$ 2 14 $3d^6 4s^2$ ЖЕЛЕЗО	**Co** 27 58,9332 2 15 $3d^7 4s^2$ КОБАЛЬТ	**Ni** 28 58,70 2 16 $3d^8 4s^2$ НИКЕЛЬ
34 **Se** 78,9$_6$ 6 18 $4p^4$ СЕЛЕН	35 **Br** 79,904 7 18 $4p^5$ БРОМ			36 **Kr** 83,80 8 18 $4p^6$ КРИПТОН
Mo 42 95,94 1 13 $4d^5 5s^1$ МОЛИБДЕН	**Tc** 43 98,9062 2 13 $4d^5 5s^2$ ТЕХНЕЦИЙ	**Ru** 44 101,0$_7$ 1 15 $4d^7 5s^1$ РУТЕНИЙ	**Rh** 45 102,9055 1 16 $4d^8 5s^1$ РОДИЙ	**Pd** 46 106,4 0 18 $4d^{10} 5s^0$ ПАЛЛАДИЙ
52 **Te** 127,6$_0$ 6 18 $5p^4$ ТЕЛЛУР	53 **I** 126,9045 7 18 $5p^5$ ИОД			54 **Xe** 131,29 8 18 $5p^6$ КСЕНОН
W 74 183,8$_5$ 2 12 32 $5d^4 6s^2$ ВОЛЬФРАМ	**Re** 75 186,207 2 13 32 $5d^5 6s^2$ РЕНИЙ	**Os** 76 190,2 2 14 32 $5d^6 6s^2$ ОСМИЙ	**Ir** 77 192,2$_2$ 2 15 32 $5d^7 6s^2$ ИРИДИЙ	**Pt** 78 195,08 1 17 32 $5d^9 6s^1$ ПЛАТИНА
84 **Po** 208,9824 6 18 32 $6p^4$ ПОЛОНИЙ	85 **At** 209,9871 7 18 32 $6p^5$ АСТАТ			86 **Rn** 222,0176 8 18 32 $6p^6$ РАДОН

Атомная масса — Атомный номер

Распределение электронов по застраивающимся и последующим застроенным подуровням — Распределение электронов по уровням

U 92 — 238,0289 — $5f^3 6d^1 7s^2$ — УРАН

Атомные массы приведены по Международной таблице 1983 г.
Точность последней значащей цифры ±1 или ±3, если она выделена мелким шрифтом.
В квадратных скобках приведены массовые числа наиболее устойчивых изотопов.
Названия и символы элементов, приведенные в круглых скобках, не являются общепринятыми.

О И Д Ы

Tb 65 158,9254 2 27 18 8 2 $4f^9 6s^2$ ТЕРБИЙ	**Dy** 66 162,5$_0$ 2 28 18 8 2 $4f^{10} 6s^2$ ДИСПРОЗИЙ	**Ho** 67 164,9304 2 29 18 8 2 $4f^{11} 6s^2$ ГОЛЬМИЙ	**Er** 68 167,2$_6$ 2 30 18 8 2 $4f^{12} 6s^2$ ЭРБИЙ	**Tm** 69 168,9342 2 31 18 8 2 $4f^{13} 6s^2$ ТУЛИЙ	**Yb** 70 173,0$_4$ 2 32 18 8 2 $4f^{14} 6s^2$ ИТТЕРБИЙ	**Lu** 71 174,967 2 9 32 18 8 2 $5d^1 6s^2$ ЛЮТЕЦИЙ

О И Д Ы

Bk 97 247,0703 2 26 32 18 8 3 $5f^8 6d^1 7s^2$ БЕРКЛИЙ	**Cf** 98 251,0796 2 28 32 18 8 2 $5f^{10} 7s^2$ КАЛИФОРНИЙ	**Es** 99 252,0828 2 29 32 18 8 2 $5f^{11} 7s^2$ ЭЙНШТЕЙНИЙ	**Fm** 100 257,0951 2 30 32 18 8 2 $5f^{12} 7s^2$ ФЕРМИЙ	**Md** 101 258,097 2 31 32 18 8 2 $5f^{13} 7s^2$ МЕНДЕЛЕВИЙ	**No** 102 259,1009 2 32 32 18 8 2 $5f^{14} 7s^2$ НОБЕЛИЙ	**Lr** 103 260,1054 2 9 32 32 18 8 2 $5f^{14} 6d^1 7s^2$ ЛОУРЕНСИЙ

ПРИЛОЖЕНИЯ

1. РАСТВОРИМОСТЬ ОСНОВАНИЙ И СОЛЕЙ

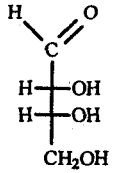
	K^+	Na^+	NH_4^+	Ba^{2+}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Al^{3+}	Cr^{3+}	Fe^{2+}	Fe^{3+}	Zn^{2+}	Ag^+	Cu^{2+}
OH^-	Р	Р	Р	Р	М	Н	Н	Н	Н	Н	Н	—	Н
F^-	Р	Р	Р	М	Н	Н	М	Н	Н	Н	Р	Р	Р
Cl^-	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Н	Р
Br^-	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Н	Р
I^-	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	—	Р	Н	—
S^{2-}	Р	Р	—	—	—	—	—	Н	Н	—	Н	Н	Н
HS^-	Р	Р	Р	Р	Р	Р	—	—	—	—	—	—	—
SO_3^{2-}	Р	Р	Р	Н	Н	Н	—	—	Н	—	Н	Н	—
HSO_3^-	Р	Р	Р	Р	Р	Р	—	—	—	—	—	—	—
SO_4^{2-}	Р	Р	Р	Н	М	Р	Р	Р	Р	Р	Р	М	Р
HSO_4^-	Р	Р	Р	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
NO_3^-	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р
NO_2^-	Р	Р	Р	Р	Р	Р	—	—	—	—	—	М	—
PO_4^{3-}	Р	Р	—	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н
HPO_4^{2-}	Р	Р	Р	Н	Н	М	—	—	Н	—	—	—	—
$H_2PO_4^-$	Р	Р	Р	Р	Р	Р	—	—	Р	—	Р	Р	—
CO_3^{2-}	Р	Р	Р	Н	Н	Н	—	—	Н	—	Н	Н	Н
HCO_3^-	Р	Р	Р	Р	Р	Р	—	—	Р	—	—	—	—
CH_3COO^-	Р	Р	Р	Р	Р	Р	М	Р	Р	Р	Р	Р	Р
SiO_3^{2-}	Р	Р	—	Н	Н	Н	—	—	Н	—	Н	—	—

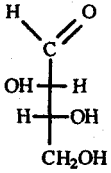
Р — растворимые; М — малорастворимые; Н — нерастворимые; — не существуют в водной среде или нет сведений о существовании соединений.

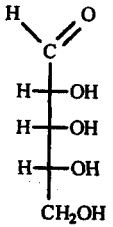
2. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ РЯД НАПРЯЖЕНИЙ МЕТАЛЛОВ

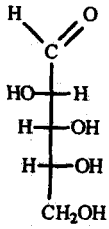
K Ba Ca Na Mg Al Mn Zn Cr Fe Pb H Cu Hg Ag Pt Au

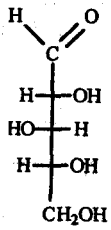
3. ФОРМУЛЫ ВАЖНЕЙШИХ МОНОСАХАРИДОВ (D-РЯДА)

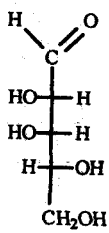

D-эритроза

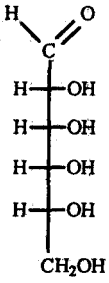

D-треоза

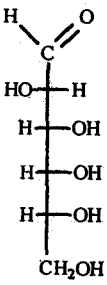

D-рибоза

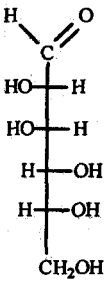

D-арабиноза

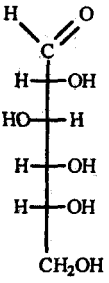

D-ксилоза

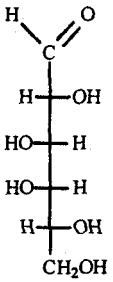

D-ликсоза

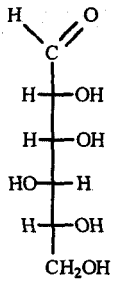

D-аллоза

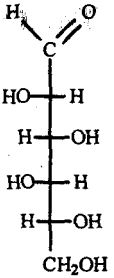

D-альтроза

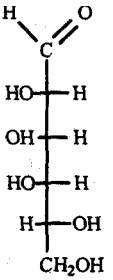

D-маннноза

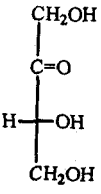

D-глюкоза

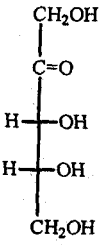

D-галактоза

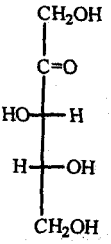

D-гулоза

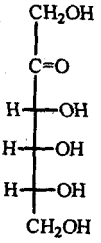

D-идоза

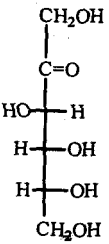

D-талоза

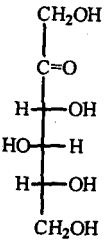

D-эритрулоза

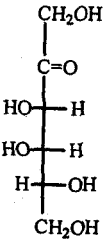

D-рибулоза


D-ксилулоза


D-псикоза


D-фруктоза


D-сорбоза


D-тагатоза

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

ОСНОВНАЯ

Гольдфарб Я. Л., Ходаков Ю. В., Додонов Ю. Б. Сборник задач и упражнений по химии.— М.: Дрофа, 2002.

Рудзитис Г. Е., Фельдман Ф. Г. Химия, 8.— М.: Просвещение, 2001.

Рудзитис Г. Е., Фельдман Ф. Г. Химия, 10.— М.: Просвещение, 2002.

Рудзитис Г. Е., Фельдман Ф. Г. Химия, 11.— М.: Просвещение, 2000.

Рудзитис Г. Е., Фельдман Ф. Г. Химия, 9.— М.: Просвещение, 2002.

Химия. Справочные материалы/ Под ред. Н. Д. Третьякова, 3-е изд.— М.: Просвещение, 1994.

Цветков Л. А. Органическая химия.— М.: Просвещение, 1988.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ

Ахметов Н. С. Неорганическая химия. В 2 ч.— М.: Просвещение, 1990.

Рэмсден Э. Н. Начала современной химии.— Л.: Химия, 1989.

Химия: Для школьников старших классов и поступающих в вузы/ Н. Е. Кузьменко, В. В. Еремин, В. А. Попков.— М.: Дрофа, 1995.

Хомченко Г. П. Химия для поступающих в вузы.— М.: Высшая школа, 1993.

Хомченко Г. П., Хомченко И. Г. Задачи по химии для поступающих в вузы.— М.: Высшая школа, 1993.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3

Раздел 1. Общая химия 5

1.1. Основные понятия химии 5
Вопросы, упражнения и задачи 9
1.2. Газы 15
Задачи 19
1.3. Способы выражения состава растворов 22
Задачи 24
1.4. Основные классы неорганических соединений 38
Упражнения 47
1.5. Стехиометрия 60
Задачи 64
1.6. Окислительно-восстановительные процессы 70
Упражнения и задачи 76
1.7. Общие закономерности протекания реакций 80
Вопросы, упражнения и задачи 82

Раздел 2. Неорганическая химия 86

2.1. Водород, кислород и их соединения 86
Вопросы, упражнения и задачи 92
2.2. Галогены и их соединения 97
Вопросы, упражнения и задачи 103
2.3. Сера и ее соединения 108
Вопросы, упражнения и задачи 117
2.4. Азот и его соединения 128
Вопросы, упражнения и задачи 137
2.5. Фосфор и его соединения 152
Вопросы, упражнения и задачи 156
2.6. Углерод и его соединения 165
Вопросы, упражнения и задачи 171
2.7. Кремний и его соединения 178
Вопросы, упражнения и задачи 180
2.8. Металлы IA- и IIA-групп 185
Вопросы, упражнения и задачи 188
2.9. Алюминий и его соединения 197
Вопросы, упражнения и задачи 201
2.10. Хром и его соединения 208
Вопросы, упражнения и задачи 212
2.11. Железо и его соединения 218
Вопросы, упражнения и задачи 223
2.12. Медь и ее соединения 233
Вопросы, упражнения и задачи 236

2.13. Цинк и его соединения 243
Вопросы, упражнения и задачи 246
2.14. Комбинированные упражнения и задачи по неорганической химии 254

Раздел 3. Органическая химия 300

3.1. Введение в органическую химию. Алканы 300
Вопросы, упражнения и задачи 311
3.2. Нециклические углеводороды с кратными связями 321
Вопросы, упражнения и задачи 330
3.3. Циклические углеводороды 345
Вопросы, упражнения и задачи 350
3.4. Комбинированные упражнения и задачи по химии углеводородов 362
3.5. Спирты 367
Вопросы, упражнения и задачи 371
3.6. Фенолы 380
Вопросы, упражнения и задачи 384
3.7. Альдегиды и кетоны 389
Вопросы, упражнения и задачи 395
3.8. Карбоновые кислоты 405
Вопросы, упражнения и задачи 413
3.9. Сложные эфиры 423
Вопросы, упражнения и задачи 427
3.10. Жиры 440
Вопросы, упражнения и задачи 443
3.11. Углеводы 449
Вопросы, упражнения и задачи 457
3.12. Комбинированные упражнения и задачи по химии кислородсодержащих органических соединений 470
3.13. Амины 496
Вопросы, упражнения и задачи 500
3.14. Аминокислоты 508
Вопросы, упражнения и задачи 511
3.15. Пептиды и белки 519
Вопросы, упражнения и задачи 522
3.16. Гетероциклические азотсодержащие соединения. Полинуклеотиды 528
Вопросы, упражнения и задачи 532
3.17. Комбинированные упражнения и задачи по химии азотсодержащих органических соединений 541
3.18. Комбинированные упражнения и задачи по органической химии 546
3.19. Комбинированные упражнения по неорганической и органической химии 566

Раздел 4. Образцы экзаменационных билетов в МГУ и ММА с вариантами ответов 569

4.1. Образцы экзаменационных билетов в МГУ 569
4.2. Варианты ответов на вопросы билетов в МГУ 572
4.3. Образцы экзаменационных билетов в Московскую медицинскую академию 582
4.4. Варианты ответов на вопросы билетов в Московскую медицинскую академию 589
Ответы на задачи 606
Приложения 618
Список литературы 621

Учебное издание

Пузаков Сергей Аркадьевич
Пошков Владимир Андреевич

ПОСОБИЕ ПО ХИМИИ ДЛЯ ПОСТУПАЮЩИХ В ВУЗЫ
ВОПРОСЫ, УПРАЖНЕНИЯ, ЗАДАЧИ.
ОБРАЗЦЫ ЭКЗАМЕНАЦИОННЫХ БИЛЕТОВ

Редактор *Л.И. Захватова*
Художник *В.А. Соколова*
Художественный редактор *А.Ю. Войткевич*
Технический редактор *Л.А. Овчинникова*
Корректоры *В.В. Кожуткина, О.Н. Шебашова*
Компьютерная верстка *Н.С. Михайлова*
Оператор *В.Н. Новоселова*

Лицензия ИД № 06236 от 09.11.01.

Изд. № РВНТ-78. Подп. в печать 17.01.05.
Формат $60\times88^{1}/_{16}$. Бум. газетн. Гарнитура «Литературная».
Печать офсетная. Объем 38,22 усл. печ. л. 38,72 усл. кр-отт.
Тираж 5000 экз. Заказ № 4745.

ФГУП Издательство «Высшая школа»,
127994, г. Москва, ГСП-4, Неглинная ул., 29/14.

Тел.: (095) 200-04-56
http://www.v-shkola.ru E-mail: info@v-shkola.ru

Отдел реализации: (095) 200-07-69, 200-59-39, факс: (095) 200-03-01
E-mail: sales@v-shkola.ru

Отпечатно на ФГУП ордена «Знак Почета»
Смоленская областная типография им. В.И. Смирнова.
214000, г. Смоленск, пр-т им. Ю. Гагарина, 2.