

Н.Н. МАГДЕСНЕВА Н.Е. КУЗЬМЕНКО

УЧИСЬ РЕШАТЬ ЗАДАЧИ ПО ХИМИИ

Н.Н. МАГДЕСИЕВА Н.Е. КУЗЬМЕНКО

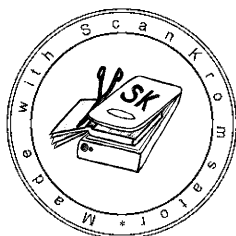
УЧИСЬ РЕШАТЬ ЗАДАЧИ ПО ХИМИИ

КНИГА ДЛЯ УЧАЩИХСЯ

МОСКВА «ПРОСВЕЩЕНИЕ» 1986

ББК 24
М12

Рецензенты: В. И. Цирельников, профессор МГПИ им. В. И. Ленина;
И. Ю. Белавин, доцент 2-го МОЛГМИ им. Н. И. Пирогова; Ю. И. Ремизов,
учитель химии



Scan AAW

Магдесиева Н. Н., Кузьменко Н. Е.

М12 Учись решать задачи по химии: Кн. для учащихся.—
М.: Просвещение, 1986.— 160 с.: ил.

Книга содержит около шестисот задач по общей, неорганической и органической химии, большая часть из них — расчетные. В сборник включены методические указания и примеры решения типовых задач. Книга предназначена для углубленного изучения химии и может использоваться на факультативных занятиях, на уроках информатики и вычислительной техники, а также при подготовке к экзаменам за курс средней школы.

М $\frac{4306020000-850}{103(03)-86}$ инф. письмо — 86, доп. № 2

ББК 24

ОТ АВТОРОВ

«Основные направления реформы общеобразовательной и профессиональной школы» поставили перед общеобразовательной школой задачу привить учащимся умение самостоятельно пополнять свои знания, ориентироваться в стремительном потоке научной информации. Это значит, что каждый ученик должен научиться использовать теоретические знания для решения практических задач.

Изучение курса химии предполагает полное усвоение трех ее основных разделов: 1) общей химии, включающей важные теоретические положения, основные законы и понятия химии; 2) неорганической химии; 3) органической химии. В настоящей книге материал распределен по трем главам, соответствующим основным разделам химии.

Задачи и упражнения первой главы составлены так, чтобы по возможности глубже подчеркнуть неразрывную взаимосвязь химии и физики — при изложении атомно-молекулярного учения и основных законов химии, строения атома и периодического закона, строения молекул и типов химических связей, строения вещества и закономерностей протекания химических процессов. Построение задач таким образом дает возможность проводить изучение фактического материала как неорганической, так и органической химии на этой основе.

Все три главы составлены так, чтобы учащиеся смогли освоить общие принципы решения задач, которые позволят в каждом конкретном случае находить наиболее рациональный путь решения задачи. С этой целью в каждой главе выделены наиболее важные теоретические темы с короткими указаниями для повторения или иногда с подробным изложением, как, например, в случае темы «Окислительно-восстановительные реакции». Однако, так как решение задач первого раздела требует знания и использования практически всех существующих приемов, развернутые решения большого набора типовых задач приведены именно в первой главе. Здесь наглядно продемонстрированы наиболее общие рациональные пути и приемы решений. В третьей главе рассмотрены типовые задачи, характерные для органической химии.

Решение задач того или иного раздела мы рекомендуем начинать с обязательного анализа всех типовых задач первой главы и только после этого приступать к самостоятельному решению.

Задачи и упражнения в каждом разделе составлены по

принципу различной сложности таким образом, чтобы несколько первых задач были доступны учащимся VIII—IX классов, последующие — учащимся X классов и, как правило, несколько задач в каждой теме — повышенной сложности (помечены звездочкой). Эти задачи в первую очередь будут полезны для занимающихся на факультативах, а в школах, где уже осуществлена компьютеризация, они могут использоваться учителями на уроках по основам информатики и вычислительной техники.

Следует отметить, что пособие составлено так, чтобы учащиеся обязательно работали с учебником и учебной литературой (в том числе с рекомендованной в списке). Прежде чем приступить к решению задач, важно повторить необходимый теоретический и фактический материал. Мы исходили из известного требования, сформулированного в разделе III Основных направлений реформы: «Наряду с уроком — основной формой учебного процесса — в старших классах школ ... шире практиковать лекции, семинарские занятия, собеседования, практикумы, консультации. Учителя и родители должны активнее приобщать учащихся к работе с книгой и другими источниками знаний, помогать им вырабатывать самостоятельность мышления»¹.

Необходимо подчеркнуть, что, хотя экзамены по химии принято считать устными, каждый билет, кроме теоретических вопросов (из общей химии, неорганической и органической), обязательно включает хотя бы одну расчетную задачу. Именно при решении задач наиболее наглядно проверяется умение учащегося обобщить изученный им материал и применить его на практике. Выработать это умение и поможет предлагаемая книга, которая написана прежде всего для учащихся старших классов.

Первая и вторая главы написаны Н. Е. Кузьменко, третья — Н. Н. Магдесиевой.

¹ О реформе общеобразовательной и профессиональной школы. Сборник документов и материалов. М., Политиздат, 1984, с. 46.

Глава I

ОБЩАЯ ХИМИЯ

§ 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ЗАКОНЫ ХИМИИ

При подготовке по этому и многим другим разделам, изучавшимся в VII—VIII классах, следует иметь в виду, что на выпускных экзаменах в школе (или на вступительных экзаменах в вузе) необходимо демонстрировать знания в объеме всего школьного курса, а не только в пределах текста учебника VII и VIII класса.

Очень важно на основе школьных учебников, а также рекомендуемых для самостоятельной работы пособий четко уяснить себе понятия о таких величинах, как «относительная молекулярная масса», «молярная масса», «количество вещества», «моль» и т. д. Необходимо знать размерности основных величин, выражать их в единицах Международной системы единиц (СИ¹); в то же время нужно уяснить себе, какие из указанных величин являются безразмерными.

Обратите особое внимание на различие между графическими и структурными формулами. При решении многих задач полезно использовать закон эквивалентов. Необходимо уметь определять эквивалент не только элементов, но и сложных веществ: оснований, кислот, солей.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ

Задача 1. Одинаковое ли число молекул: а) в 1 г азота и 1 г оксида углерода (IV); б) в 1 л азота и 1 л оксида углерода (IV); в) в 1 моль азота и 1 моль оксида углерода (IV)? Во всех трех случаях условия нормальные².

Решение. а). Пользуясь формулой $\nu = m/M$, где ν — число молей, m — масса (в г), M — молярная масса (в г/моль), находим число молей, соответствующее 1 г N_2 и 1 г CO_2 :

¹ Общепринятое сокращение СИ — от названия во французской транскрипции: Международная система единиц — *Système International d'Unités*. Поэтому не говорят и не пишут: «... в системе СИ». Нужно говорить или писать: «... в СИ».

Далее во всех задачах, если специально не оговорено, условия для газов считать *нормальными*.

$$\nu(\text{N}_2) = \frac{m(\text{N}_2)}{M(\text{N}_2)} = \frac{1}{14} \text{ моль}$$

$$\nu(\text{CO}_2) = \frac{m(\text{CO}_2)}{M(\text{CO}_2)} = \frac{1}{44} \text{ моль}$$

Понятно, что 1 г N_2 и 1 г CO_2 содержат различное количество вещества, т. е. различное число молекул.

б) Легче всего ответить на этот вопрос, так как по закону Авогадро равные объемы газов, взятые при одинаковых условиях, содержат одинаковое число частиц — молекул или атомов (для одноатомных газов). Поэтому 1 л азота и 1 л оксида углерода (IV) при одинаковых условиях содержат одно и то же число молекул ($6,02 \cdot 10^{23} : 22,4 = 2,69 \cdot 10^{22}$).

в) 1 моль азота и 1 моль оксида углерода (IV) содержат одинаковое количество вещества и, следовательно, одинаковое число молекул (равное числу Авогадро).

Задача 2. Определите формулу химического соединения, если массовые доли (%) составляющих его элементов равны: Н — 1,59%, N — 22,22%, О — 76,19%.

Решение. 1-й способ. Формула соединения в общем виде может быть записана как $\text{H}_x\text{N}_y\text{O}_z$. Для решения задачи необходимо определить значения x , y и z . Для этого следует разделить массовую долю каждого элемента на его относительную атомную массу и найти соотношение между числами атомов Н, N и О в молекуле:

$$x:y:z = \frac{1,59}{1} : \frac{22,22}{14} : \frac{76,19}{16} = 1,59:1,59:4,76$$

Наименьшее из чисел (1,59) принимаем за единицу и находим отношение:

$$x:y:z = 1:1:3$$

Оно означает, что в молекуле химического соединения на 1 атом водорода приходится 1 атом азота и 3 атома кислорода, следовательно, формула соединения — HNO_3 .

2-й способ. Допустим, что в 1 моле искомого соединения содержится 1 моль атомов водорода, масса которого 1 г. Тогда, зная массовое отношение элементов в соединении, можно рассчитать, сколько граммов азота и кислорода приходится на 1 моль водорода.

Расчет для азота: 1 г водорода составляет 1,59%. Следовательно, на 1% приходится в 1,59 раза меньше граммов водорода, т. е. $1/1,59$ г, тогда на 22,22% азота приходится масса больше в 22,22 раза:

$$m(\text{N}) = \frac{1 \text{ г} \cdot 22,22\%}{1,59\%} = 13,98 \text{ г} \simeq 14 \text{ г (т. е. 1 моль N)}$$

Расчет для кислорода:

$$m(\text{O}) = \frac{1 \text{ г} \cdot 76,19\%}{1,59\%} = 47,92 \text{ г} \simeq 48 \text{ г (т. е. 3 моль O)}$$

Таким образом, на 1 моль водорода приходится 1 моль азота и 3 моль кислорода, а поскольку число атомов в моле любого элемента одинаково (и равно $6 \cdot 10^{23}$ — числу Авогадро), следовательно, формула искомого соединения — HNO_3 .

О т в е т: формула соединения — HNO_3 .

Задача 3. Какова масса меди, если в ней содержится 1 г электронов (масса электрона составляет $1/1840$ а. е. м.)?

Р е ш е н и е. Составим последовательный план решения задачи: масса одной атомной единицы массы (в граммах) \longrightarrow масса одного электрона (в граммах) \longrightarrow число электронов, масса которых составляет 1 г \longrightarrow число атомов Cu (n), содержащее это число электронов \longrightarrow число молей Cu, содержащих n атомов Cu \longrightarrow масса Cu (в граммах), содержащая 1 г электронов.

1) Рассчитаем массу 1 а. е. м. (в граммах). Для этого сначала рассчитаем массу одного атома углерода ^{12}C :

масса $6,02 \cdot 10^{23}$ атомов углерода ^{12}C равна 12 г

масса 1 атома углерода ^{12}C равна x г

Составляем пропорцию:

$$6,02 \cdot 10^{23} : 12 = 1 : x, \text{ отсюда } x = \frac{12}{6,02 \cdot 10^{23}} \text{ г}$$

Далее по определению «углеродной» единицы (1 а. е. м. равна $1/12$ массы атома углерода ^{12}C) имеем:

$$1 \text{ а. е. м.} = \frac{1}{12} \cdot \frac{12 \text{ г}}{6,02 \cdot 10^{23}} = \frac{1}{6,02 \cdot 10^{23}} \text{ г}$$

2) Рассчитаем массу 1 электрона (в граммах), исходя из условия задачи:

$$m(e^-) = \frac{1}{1840} \cdot \frac{1}{6,02 \cdot 10^{23}} \text{ г}$$

3) Определим число электронов массой 1 г:

масса 1 электрона составляет $\frac{1}{1840 \cdot 6,02 \cdot 10^{23}} \text{ г}$

масса y электронов составляет 1 г

$$y = 1840 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ электронов}$$

4) Определим число атомов меди (n), содержащих в себе y электронов. Порядковый номер меди — 29, следовательно, 1 атом содержит 29 электронов.

1 атом Cu содержит 29 электронов

n атомов Cu содержат $1840 \cdot 6,02 \cdot 10^{23}$ электронов

Решаем пропорцию, получаем:

$$n = \frac{1840 \cdot 6,02 \cdot 10^{23}}{29} \text{ атомов Cu}$$

5) Определим количество вещества меди z (в молях), содержащее n атомов меди:

1 моль Cu содержит $6,02 \cdot 10^{23}$ атомов Cu

z моль Cu содержат $\frac{1840 \cdot 6,02 \cdot 10^{23}}{29}$ атомов Cu

Решим пропорцию, получим:

$$z = \frac{1840}{29} \text{ моль}$$

6) Определим, наконец, какая масса меди содержит 1 г электронов:

масса 1 моль Cu составляет 64 г

масса $\frac{1840}{29}$ моль Cu составляет m г

$$1:64 = \frac{1840}{29}:m; m = \frac{1840 \cdot 64}{29} = 4070; m = 4070 \text{ г}$$

О т в е т: 4,07 кг меди содержат 1 г электронов.

Задача 4. При взаимодействии 1,04 г некоторого металла с раствором кислоты выделилось 0,448 л водорода. Определите этот металл.

Р е ш е н и е. *1-й способ.* Для решения этой задачи удобно воспользоваться законом эквивалентов.

Элементы соединяются друг с другом и замещают один другой в количествах, пропорциональных их эквивалентам.

Согласно закону эквивалентов, можно записать:

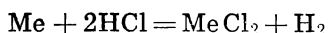
$$\frac{m(\text{Me})}{m(\text{H})} = \frac{\mathcal{E}(\text{Me})}{\mathcal{E}(\text{H})},$$

где $m(\text{Me})$ и $m(\text{H})$ — масса металла и масса замещенного водорода; $\mathcal{E}(\text{Me})$ и $\mathcal{E}(\text{H})$ — эквиваленты металла и водорода соответственно. Учитывая условия задачи, запишем:

$$1,04 : \frac{0,448 \cdot 2}{22,4} = \frac{\mathcal{E}(\text{Me})}{\mathcal{E}(\text{H})} = \frac{\mathcal{E}(\text{Me})}{1}; \mathcal{E}(\text{Me}) = 26,0$$

Эквивалент элемента \mathcal{E} , валентность элемента B и его относительная атомная масса A_r связаны между собой следующим соотношением: $\mathcal{E} = A_r : B$. Предположим, что валентность искомого металла равна 1, тогда его относительная атомная масса должна быть равна 26,0. Металла с такой атомной массой не существует. Предполагая последовательно, что валентность металла равна 2, 3 и т. д., находим, что искомым металлом является хром с относительной атомной массой A_r 52,0, валентность которого в данном случае равна 2.

2-й способ (расчет по уравнению химической реакции). Этим способом можно решать задачу в случае, если в условии указана валентность металла. Запишем уравнение реакции между искомым металлом и кислотой, например соляной:



По условию задачи при взаимодействии 1,04 г неизвестного металла с раствором кислоты выделилось 0,448 л водорода, а согласно уравнению реакции, при взаимодействии 1 моль металла (Me) с кислотой выделяется 22,4 л H_2 . Составляем пропорцию:

при взаимодействии 1,04 г Me образуется 0,448 л H_2

при взаимодействии x г Me образуется 22,4 л H_2

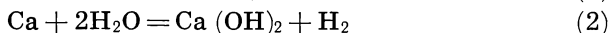
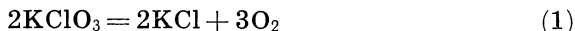
$$1,04:0,448 = x:22,4$$

$$x = \frac{1,04 \cdot 22,4}{0,448} = 52; \quad x = 52 \text{ г (Cr)}$$

О т в е т: искомый металл — хром (Cr).

Задача 5. Газ, полученный при прокаливании 4,9 г бертолетовой соли, смешали в сосуде (емкостью 4 л) с газом, полученным при взаимодействии 6,0 г металлического кальция с водой. Определите состав (в процентах по объему) и давление газовой смеси в сосуде (температуру считать равной 0°C , давлением водяных паров можно пренебречь).

Р е ш е н и е. Запишем уравнения реакций разложения бертолетовой соли и взаимодействия металлического кальция с водой:



По уравнениям (1) и (2) определим объемы выделившихся кислорода и водорода. Затем, используя уравнение Менделеева — Клапейрона:

$$pV = \nu RT, \quad (3)$$

определим давление газовой смеси в сосуде.

1) Определим объем выделившегося при разложении KClO_3 кислорода с помощью пропорции, составленной по уравнению реакции (1):

2 моль KClO_3 дают $3 \cdot 22,4$ л O_2 (3 моль O_2)

$\frac{4,9}{122,5}$ моль KClO_3 дает x л O_2

$$2:(3 \cdot 22,4) = \frac{4,9}{122,5}:x; \quad x = 1,34 \text{ л}$$

2) Таким же образом определим объем выделившегося водорода, используя уравнение реакции (2):

при взаимодействии 1 моль Ca образуется 22,4 л H_2

при взаимодействии $\frac{6,0}{40}$ моль Ca образуется y л H_2

$$1:22,4 = \frac{6,0}{40}:y; \quad y = 3,36 \text{ л}$$

3) Определим состав (в процентах по объему) смеси газов. Суммарный объем смеси газов O_2 и H_2 составляет: $1,34 \text{ л} + 3,36 \text{ л} = 4,7 \text{ л}$. Следовательно, содержание кислорода в этой смеси составляет:

$$\frac{1,34 \text{ л}}{4,7 \text{ л}} \cdot 100\% = 28,5\% \text{ (по объему),}$$

содержание водорода — 71,5% (по объему).

4) Чтобы рассчитать давление этой газовой смеси, заключенной в сосуде объемом 4 л, напомним смысл и размерность обозначений в уравнении Менделеева — Клапейрона (3). Согласно уравнению (3), универсальная газовая постоянная R определяется значениями p_0 , V_0 и T_0 , соответствующими нормальным условиям¹:

$$R = 8,3144 \cdot 10^3 \text{ л} \cdot \text{Па} / (\text{моль} \cdot \text{К})$$

Поскольку в нашем случае количество вещества двух газов составляет: $\nu = 4,7 \text{ л} : 22,4 \text{ л/моль} = 0,21 \text{ моль}$, то, подставляя теперь все значения в уравнение (3), получим:

$$p = 1,2 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

О т в е т: 28,5% O_2 и 71,5% H_2 ; $p = 1,2 \cdot 10^5 \text{ Па}$.

Задача 6. Имеется два сосуда, заполненных смесями газов: а) H_2 и Cl_2 ; б) H_2 и O_2 . Как изменится давление в сосудах при пропускании через эти смеси электрической искры?

Р е ш е н и е. При пропускании искры газы реагируют по следующим уравнениям:



Из уравнения реакции (1) видно, что 1 моль водорода и 1 моль хлора образуют 2 моль хлороводорода. Следовательно, количество вещества (в молях) газа после реакции (1) остается без изменения, объем газовой смеси также не меняется, поэтому и давление в сосуде не изменится.

Количество вещества газа после окончания реакции (2) уменьшается в 1,5 раза, следовательно, изменится и давление. В условии задачи намеренно не оговорено, приводится ли смесь к нормальным условиям или нет. Для ответа на поставленный в задаче вопрос это несущественно: допустим, что смесь останется при высокой температуре, тогда образовавшаяся вода будет находиться в парообразном состоянии и давление после реакции уменьшится для стехиометрической смеси в 1,5 раза, как было показано выше; если же смесь будет приведена к нормальным условиям, давление смеси еще более уменьшится за счет конденсации паров воды.

¹ В других единицах R имеет следующие значения: $8,3144 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$; $8,3144 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{кмоль} \cdot \text{К})$.

О т в е т: а) давление не изменится; б) давление уменьшится.

Задача 7. При нормальных условиях 12 л газовой смеси, состоящей из аммиака и оксида углерода (IV), имеют массу 18 г. Сколько литров каждого из этих газов содержит смесь?

Р е ш е н и е. 1-й способ. Составим уравнение:

$$\nu(\text{NH}_3) \cdot M(\text{NH}_3) + \nu(\text{CO}_2) \cdot M(\text{CO}_2) = m(\text{NH}_3 + \text{CO}_2),$$

где ν — число молей газа, M — молярная масса газа (в г/моль), m — масса газовой смеси (в г).

Обозначим объем NH_3 в газовой смеси — x л, объем CO_2 — $(12 - x)$ л; тогда число молей для NH_3 и CO_2 составит:

$$\nu(\text{NH}_3) = \frac{x \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}}; \quad \nu(\text{CO}_2) = \frac{(12 - x) \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}}$$

Молярные массы равны: $M(\text{NH}_3) = 17$ г/моль, $M(\text{CO}_2) = 44$ г/моль. Подставляя все значения в уравнение получим:

$$\frac{x}{22,4} \cdot 17 + \frac{12 - x}{22,4} \cdot 44 = 18; \quad x = 4,62 \text{ л}$$

Таким образом, смесь содержит 4,62 л NH_3 и 7,38 л CO_2 .

2-й способ. Чаше при решении подобных задач удобнее составить алгебраические уравнения следующего типа («в молях»):

$$\begin{aligned} 17x + 44y &= 18, \\ x + y &= \frac{12}{22,4}, \end{aligned}$$

где x — число молей NH_3 , y — число молей CO_2 .

О т в е т: 4,62 л NH_3 ; 7,38 л CO_2 .

Задача 8. Может ли химическое соединение содержать 25% водорода (по массе)? Если оно существует, то какими способами его можно получить?

Р е ш е н и е. Предположим, что формула искомого соединения RH_x . Тогда, согласно закону эквивалентов, можно написать:

$$\frac{75}{25} = \frac{\mathcal{E}(\text{R})}{\mathcal{E}(\text{H})} = \frac{\mathcal{E}(\text{R})}{1}; \quad \mathcal{E}(\text{R}) = 3,$$

где $\mathcal{E}(\text{R})$ и $\mathcal{E}(\text{H})$ — эквивалент искомого элемента и эквивалент водорода.

1) Предположим, что валентность этого элемента равна 1. Тогда по формуле $A_r = \mathcal{E} \cdot B$ находим его относительную атомную массу: $A_r = \mathcal{E} \cdot B = 3 \cdot 1 = 3$. Элемента с относительной атомной массой 3 не существует.

2) Валентность искомого элемента равна 2, тогда $A_r = 6$. Элемента с относительной атомной массой 6 также не существует.

3) Валентность элемента равна 3, тогда $A_r = 9$. Элементом с относительной атомной массой 9 является Be, но бериллий в своих соединениях бывает двухвалентен, а мы уже предположили, что элемент трехвалентен. Следовательно, искомый элемент не может быть бериллием.

4) Валентность равна 4, тогда $A_r = 12$. Таким элементом является углерод ^{12}C . Углерод полностью удовлетворяет принятому условию, так как он находится в четвертой группе периодической системы и в своих соединениях четырехвалентен.

Таким образом, искомый элемент — C, искомое соединение — метан CH_4 .

О т в е т: метан CH_4 содержит 25% водорода (по массе).

Задача 9. Определите относительную молекулярную массу и молекулярную формулу вещества, если плотность его по водороду равна 14; вещество имеет состав (в процентах по массе): C — 85,7% и H — 14,3%.

Р е ш е н и е. 1) Определим относительную молекулярную массу вещества:

$$M_r = 2D_{\text{H}_2} = 28$$

2) Найдем соотношение между числами атомов C и H в соединении C_xH_y :

$$x:y = \frac{85,4}{12} : \frac{14,3}{1} = 7,14:14,3 = 1:2$$

Следовательно, простейшая формула вещества — CH_2 и ее относительная молекулярная масса равна 14. Такое соотношение атомов имеется во многих соединениях, принадлежащих к ряду этиленовых и циклопарафиновых углеводородов (например, в этилене C_2H_4 , гексане C_6H_{12}). В данном случае относительная молекулярная масса искомого соединения M_r равна 28, следовательно, формула соединения — C_2H_4 . Это вещество является первым в гомологическом ряду непредельных углеводородов.

О т в е т: этилен C_2H_4 , $M_r = 28$.

ЗАДАЧИ

1. Рассчитайте, каковы массы (в граммах) одной молекулы кислорода и одного атома кальция.
2. Установите простейшую формулу химического соединения, зная массовые доли составляющих его элементов: S — 50%, O — 50%.
3. При взаимодействии 10 г металла с водой выделилось 5,6 л водорода. Определите этот металл, если он в своих соединениях двухвалентен.
4. К 10%-ному раствору соляной кислоты массой 100 г добавили 10%-ный раствор гидроксида калия массой 100 г.

- Сколько молекул воды содержит полученный раствор?
5. При разложении 25 г карбоната двухвалентного металла выделилось 5,6 л оксида углерода (IV). Установите формулу соли.
 6. В газометре имеется 20 л кислорода. В струе кислорода, подаваемого из газометра, сгорело 12 л аммиака. Какие газы и в каком объеме образовались в результате сгорания? Сколько литров кислорода осталось в газометре?
 7. Имеются куски металлического магния и свинца, массой 2 кг каждый. Сколько атомов будет в каждом куске металла?
 8. При сжигании 5,4 г неизвестного вещества в кислороде образовалось 2,8 г азота, 8,8 г оксида углерода (IV) и 1,8 г воды. Установите формулу вещества, если его молярная масса равна 27 г/моль.
 9. При сжигании 3,4 г неизвестного вещества в кислороде образовалось 2,8 г азота и 5,4 г воды. Установите формулу вещества, если его молярная масса равна 17 г/моль.
 10. При сжигании 1,7 г неизвестного вещества в кислороде образовалось 3,2 г оксида серы (IV) и 0,9 г воды. Установите формулу вещества, если его молярная масса равна 34 г/моль.
 11. Какова масса 1 л смеси газов, состоящей из оксида углерода (II) и оксида углерода (IV), если содержание первого газа составляет 35% (по объему)?
 12. Найдите массу 1 л смеси газов, состоящей из равных массовых долей азота и оксида углерода (IV). Какая соль образуется при пропускании 1 л этой смеси через 50 г 28%-ного раствора гидроксида натрия и какова ее масса?
 13. При взаимодействии 1,5 г некоторого простого вещества с водой выделилось 0,923 л водорода, измеренного при температуре 27 °C и давлении $1 \cdot 10^5$ Па. Определите это вещество.
 14. При разложении 0,197 г иодида металла до чистого металла и иода на нагретой до 1200 °C вольфрамовой проволоке (способ получения некоторых сверхчистых металлов) масса последней увеличилась на 0,030 г. Иодид какого металла был взят?
 15. При разложении 0,4373 г двухосновной кислоты, образованной шестивалентным элементом, образуется 0,4058 г оксида, соответствующего этой кислоте. Какая была взята кислота?
 16. Докажите, что существуют химические соединения (общей формулы ЭлН_x), которые содержат 12,5% водорода (по массе).
 17. После длительного прокаливания порошка меди на воздухе масса его увеличилась на $\frac{1}{8}$. Определите состав образовавшейся смеси (в процентах по массе).

18. Одинаковые ли объемы водорода выделяются при полном растворении 3 г алюминия в соляной кислоте и в растворе гидроксида натрия?
19. 50 мл смеси оксида углерода (II) и метана были взорваны с 60 мл кислорода. После взрыва и приведения газов к нормальным условиям объем их оказался равным 70 мл. Определите содержание оксида углерода (II) в исходной смеси (в процентах по объему).
20. Некоторую массу кристаллогидрата состава $\text{MgCO}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ прокаливали до прекращения выделения газов. Последние были пропущены последовательно через промывные склянки с концентрированной серной кислотой и известковой водой. Масса первой склянки увеличилась на 5,4 г, а во второй выпало 10,0 г осадка. Определите состав, массу и количество вещества исходного кристаллогидрата.

§ 2. СТРОЕНИЕ АТОМОВ И МОЛЕКУЛ. ТИПЫ ХИМИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ.

ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ЗАКОН Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА

Для решения задач этого раздела необходимо четко представлять основные модели строения атома, а также квантовые числа, знать их физический смысл, уметь пользоваться обозначениями (*s*-, *p*-, *d*- и т. д.) орбиталей и графической записью электронных конфигураций элементов с помощью квантовых ячеек.

Обратите внимание на физическое обоснование периодического закона в свете современного учения о строении атомов.

Важно также, с одной стороны, составить представление об особенностях образования каждого типа химической связи, а с другой — уметь проиллюстрировать на близких вам примерах, что для любой химической связи причина ее образования одна и та же — электрические взаимодействия ядер и электронов. Вновь обратите внимание на структурные формулы молекул с ковалентным типом связи, например, таких, как H_2O , H_2O_2 , H_2S , NH_3 , PH_3 , BCl_3 , AlF_3 , CH_4 , C_2H_6 , C_2H_4 , C_2H_2 , C_6H_6 . Попытайтесь дать объяснение структурных формул на основе электронных конфигураций атомов, входящих в состав перечисленных молекул. Важно ли при этом знать форму электронных облаков?

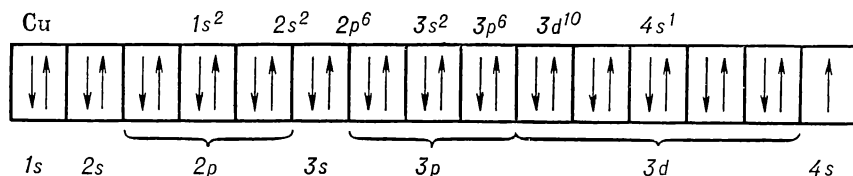
Необходимо уяснить основы современной (спиновой) теории валентности, различать понятия «валентность» и «степень окисления». Имейте в виду условность использования понятия «степень окисления» для элементов в соединениях с полярными ковалентными связями. На основе спиновой теории объясните, почему, например, для серы характерны соединения, где ее

валентность бывает четная (2, 4, 6), а для хлора и других галогенов (брома, иода) характерны соединения, где валентности галогенов нечетны (1, 3, 5, 7). Рассмотрите понятие электрострицательности. Почему фтор проявляет только валентность, равную 1, и не проявляет переменной валентности?

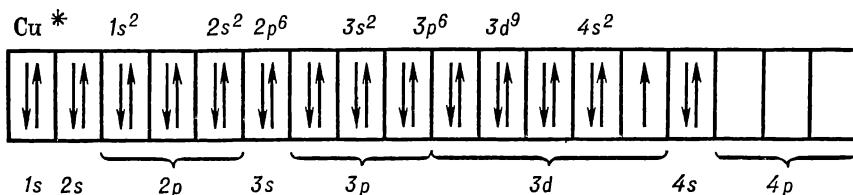
ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ

Задача 1. Какую максимальную валентность могут иметь в химических соединениях следующие элементы: Cu, P, Ti, Mn?

Р е ш е н и е. 1) Медь Cu. Порядковый номер меди 29. Ядро атома меди содержит 29 протонов, следовательно, заряд его равен +29 и вокруг ядра находятся 29 электронов. Электронная конфигурация атома меди следующая¹:

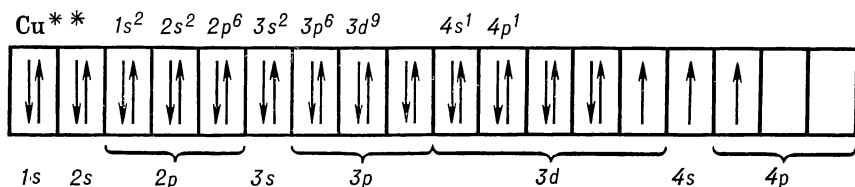


Таким образом, в нормальном состоянии атом меди может проявлять валентность 1 (например, в соединении Cu_2O). Однако известно, что энергии 4s- и 3d-орбиталей близки (см., например, пособие Кузьменко, Чуранова, гл. II, § 4), поэтому в определенных условиях атом меди может переходить в возбужденное состояние со следующей электронной конфигурацией:



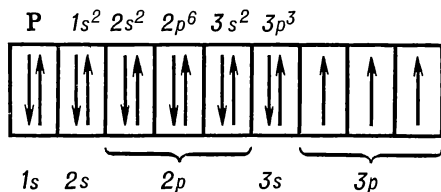
В свою очередь 4s-электроны могут легко распариваться так, что возбужденный атом меди приобретает электронную конфигурацию Cu^{**} и может образовывать связи за счет ставших валентными 4s- и 4p-электронов:

¹ На представленных ниже схемах электронных конфигураций графически не указано, как соотносятся значения энергии разных уровней. Обычно энергия возрастает в ряду: 1s, 2s, 2p, 3s, 3p, 4s, 3d, 4p.



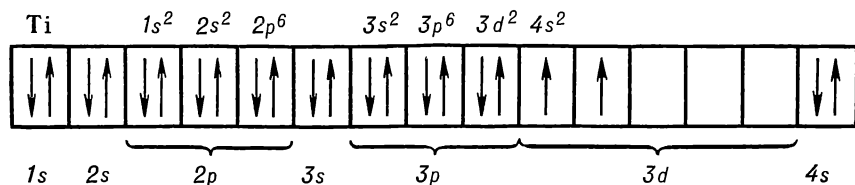
Таким образом, медь может проявлять валентность 2; в настоящее время получены соединения меди типа CuCl_3 , где медь проявляет валентность 3.

2) Фосфор Р. Порядковый номер фосфора 15. Электронная конфигурация атома фосфора следующая:



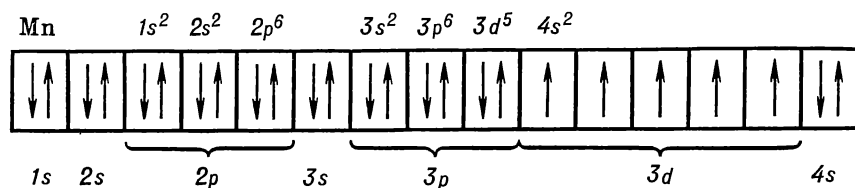
На внешнем электронном слое атом фосфора имеет пять электронов. Фосфор может проявлять валентность 3 за счет p -электронов и свою максимальную валентность (5) за счет s - и p -электронов, когда происходит распаривание $3s$ -электронов на $3d$ - или $4s$ -орбиталь.

3) Титан Ti. Порядковый номер 22. Электронная конфигурация следующая:

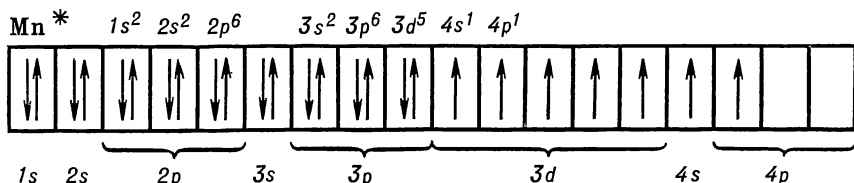


Максимальную валентность (4) титан проявляет в возбужденном состоянии, когда распариваются его $4s$ -электроны, однако он может проявлять и промежуточные валентности (в соединениях Ti (II), Ti (III)).

4) Марганец Mn. Порядковый номер 25. Электронная конфигурация в нормальном состоянии:



и в возбужденном состоянии:

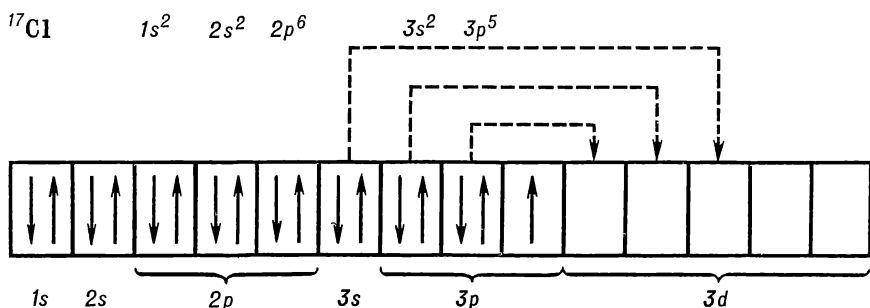


Отсюда видно, что в возбужденном состоянии максимальное число электронов, участвующих в образовании химической связи, доходит до семи (например, в KMnO_4). Марганец может проявлять и промежуточные значения валентности (см. ниже § 2, задача 2).

На вопрос этой задачи можно ответить более просто и формально (за исключением меди), взглянув на положение элементов в периодической системе. Однако в этом случае нельзя предсказать и объяснить переменную валентность этих элементов.

Задача 2. Какие общие свойства имеют элементы Mn и Cl, находящиеся в одной группе периодической системы Д. И. Менделеева?

Решение. Марганец и хлор находятся в VII группе периодической таблицы, но хлор — в главной, а марганец — в побочной подгруппе. Формально они могут проявлять максимальную валентность (7) и давать соединения с меньшими валентностями, причем марганец как элемент побочной подгруппы должен иметь мало сходства с хлором — элементом главной подгруппы. (Электронная конфигурация марганца ^{25}Mn дана выше в задаче 1.) Электронная конфигурация хлора ^{17}Cl следующая:



Стрелками показаны возможные способы распаривания электронов в различных возбужденных состояниях хлора. Такое распаривание возможно потому, что атом хлора имеет свободные $3d$ -квантовые ячейки. При частичном или полном распаривании электронов хлор может проявлять переменную валентность 1, 3, 5, 7.

Как видно из электронной конфигурации атома марганца (см. § 2, задача 1), у него недостроена $3d$ -орбиталь. Наличие двух $4s$ -электронов на внешнем уровне указывает прежде всего на металлические свойства марганца и обуславливает существование характерных свойств у соединений марганца. В возбужденном состоянии максимальное число электронов, участвующих в образовании химической связи, доходит до семи. Сказанное поясним на примере оксидов и гидроксидов марганца и хлора.

Марганец с кислородом образует несколько оксидов, обладающих различными свойствами. Увеличение валентности марганца от 2 до 7 сопровождается усилением кислотных и ослаблением основных свойств оксидов. Оксид марганца (II) MnO — основной оксид, ему соответствует основание $Mn(OH)_2$; оксид марганца (IV) MnO_2 — наиболее устойчивый при обычных условиях оксид марганца с амфотерными свойствами: ему формально соответствует гидроксид $Mn(OH)_4$, дающий соли $Mn(OCOCH_3)_4$ и $CaMnO_3 (CaO \cdot MnO_2)$. Оксид марганца (VI) MnO_3 в свободном виде не получен, ему соответствует марганцовистая кислота H_2MnO_4 (соли этой кислоты носят название манганатов); оксид марганца (VII) Mn_2O_7 также является кислотным оксидом, ему соответствует марганцовая кислота $HMnO_4$ (соли — перманганаты).

Хлор с кислородом образует также ряд оксидов. Как и у соединений марганца, увеличение валентности хлора сопровождается усилением кислотных свойств этих соединений. Проявляется это в том, что все оксиды хлора являются кислотными и сила соответствующих кислот возрастает с ростом валентности. Так, оксиду хлора (I) Cl_2O соответствует очень слабая хлорноватистая кислота $HClO$ (соли этой кислоты — гипохлориты); невыделенному оксиду хлора (III) Cl_2O_3 соответствует более сильная хлористая кислота $HClO_2$ (соли — хлориты); существует и оксид хлора (IV) ClO_2 . Оксиду хлора (V) соответствует уже достаточно сильная хлорноватая кислота $HClO_3$ (соли — хлораты); оксиду хлора (VII) Cl_2O_7 соответствует очень сильная хлорная кислота $HClO_4$ (соли — перхлораты).

Таким образом, общим для марганца и хлора можно считать образование ряда подобных химических соединений, например оксидов и их гидроксидов, причем с возрастанием валентности этих элементов кислотные свойства их гидроксидов возрастают.

Особенно сходными свойствами обладают соединения этих элементов с высшей валентностью (7). Так, например, оксид марганца (VII) Mn_2O_7 (жидкость) очень неустойчив, при нагревании разлагается со взрывом. Оксид хлора (VII) Cl_2O_7 — маслянистая жидкость, сильно взрывается при ударе. $HMnO_4$ и $HClO_4$ — очень сильные кислоты, в растворе диссоци-

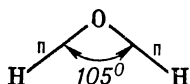
ированы почти нацело. Обе кислоты и их соли являются довольно сильными окислителями.

Задача 3. Какие из перечисленных ниже веществ имеют ионное, а какие — ковалентное строение? Укажите на графических или структурных формулах этих веществ характер каждой из связей: H_2O , NH_3 , HNO_3 , $\text{Al}(\text{OH})_3$, BaSO_4 , KMnO_4 , MnO_2 , $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, FeS_2 .

Решение. Для описания характера связей в указанных соединениях будем обозначать ковалентную связь символом «к», полярную связь — символом «п» и ионную — символом «и».

1) Вода H_2O . Графическую формулу воды можно представить, например, таким образом: $\text{H}-\text{O}-\text{H}$.

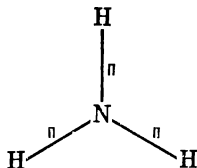
Истинная — структурная — формула воды:



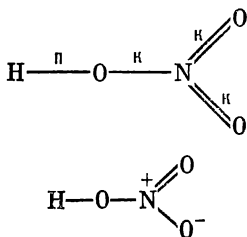
Связи $\text{O}-\text{H}$ в молекуле H_2O полярные (п).

Далее приводятся графические формулы указанных веществ.

2) Аммиак NH_3

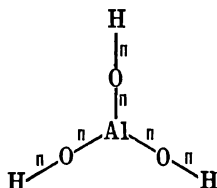


3) Азотная кислота HNO_3

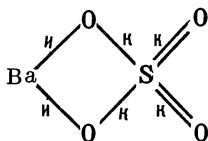


В нижней формуле отражены донорно-акцепторные связи.

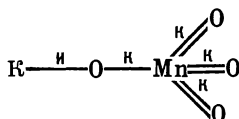
4) Гидроксид алюминия $\text{Al}(\text{OH})_3$



5) Сульфат бария BaSO_4



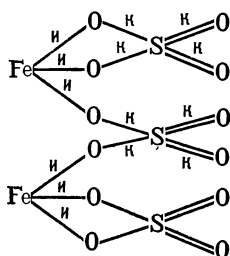
6) Перманганат калия KMnO_4



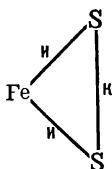
7) Оксид марганца (IV) MnO_2



8) Сульфат железа (III) $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$



9) Пирит FeS_2



Задача 4. Составьте графические и структурные (пространственные) формулы следующих молекул: BF_3 , H_2S , ZnCl_2 , PH_3 .

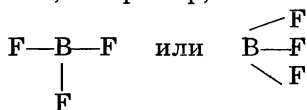
Решение. На примере данной задачи важно еще раз понять разницу между графическими и структурными формулами молекул.

В чем же заключается *разница между графическими и структурными формулами* молекул?

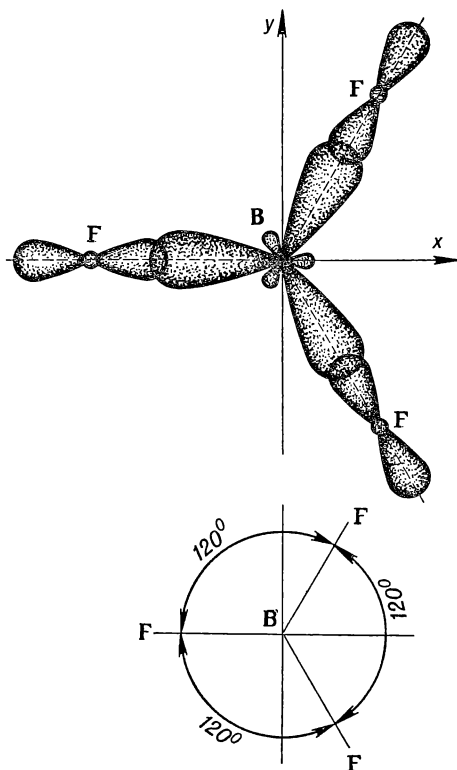
Графические формулы показывают *последовательность соединения атомов* в молекуле и *валентность* этих атомов.

Структурные формулы показывают не только *последовательность соединения атомов* в молекуле и *валентности* этих атомов, но и *пространственное расположение* этих атомов относительно друг друга.

1) Фторид бора BF_3 . Графическую формулу молекулы BF_3 можно представить, например, таким образом:

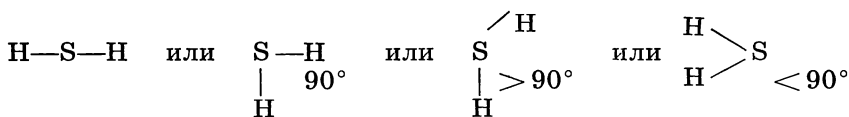


Однако истинная структурная формула BF_3 определяется тем, что при образовании трехвалентных соединений бора происходит гибридизация одной s - и двух p -орбиталей (sp^2 -гибридизация), при этом образуются три одинаковые sp^2 -гибридные орбитали, расположенные в одной плоскости под углом 120° друг к другу:

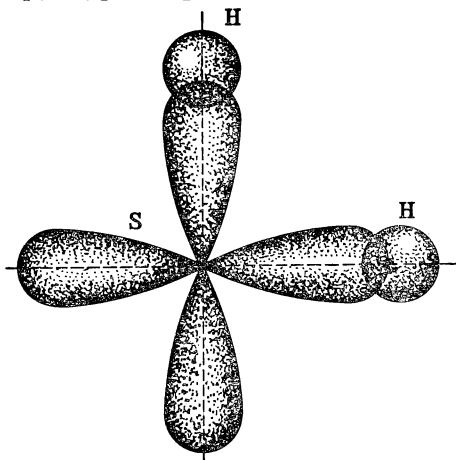


Заметим, что за счет образования sp^2 -гибридных орбиталей объясняются также структуры непредельных углеводородов с двойными связями (например, этилена) и молекулы бензола.

2) Сероводород H_2S . Графические формулы могут быть представлены различным образом, например:

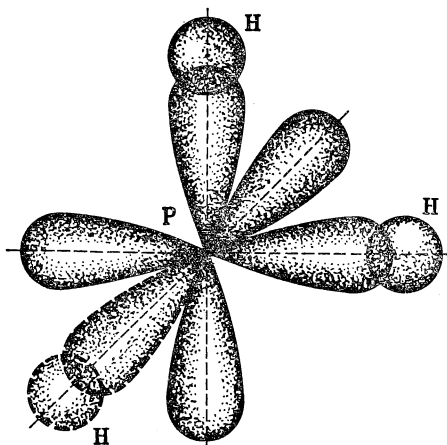


В действительности сероводороду H_2S отвечает одна строго определенная структурная формула:



Объясняют это тем, что атом серы имеет два валентных электрона, которые занимают две p -орбитали, расположенные под прямым углом 90° друг к другу. Атомы водорода имеют неспаренные s -электроны, поэтому угол между двумя связями $\text{S}-\text{H}$, образованный p -электронами атома серы с s -электронами двух атомов водорода, должен быть прямым или близким к нему.

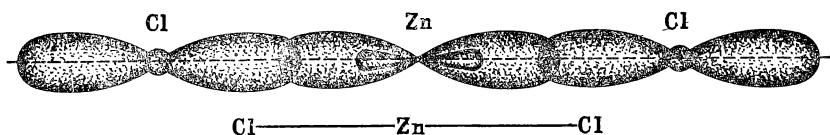
3) Фосфин PH_3 . Аналогично рассуждая, можно показать, что молекула фосфина PH_3 имеет форму пирамиды с атомом фосфора в вершине, в которой связи $\text{P}-\text{H}$ должны располагаться под прямыми углами (или близкими к ним):



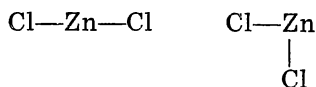
Казалось бы, согласно примерам с молекулами H_2S и PH_3 , углы между связями в молекулах H_2O , H_2S , H_2Se , NH_3 , PH_3 , AsH_3 должны быть прямыми. На самом деле значения углов между связями отличаются от прямых. Такое увеличение валентных углов по сравнению с 90° можно объяснить взаимным отталкиванием не связанных друг с другом атомов, которое мы сначала не учитывали при теоретическом предсказании углов между связями. Так, например, взаимное отталкивание атомов водорода в молекуле H_2S слабее, чем отталкивание атомов водорода в молекуле H_2O , так как радиус атома серы больше радиуса атома кислорода, поэтому валентные углы $\text{H}-\text{S}-\text{H}$ ближе к 90° , чем углы $\text{H}-\text{O}-\text{H}$.

Из рассмотренных выше примеров можно сделать вывод, что двухвалентный атом неметалла с двумя валентными p -орбиталями образует изогнутую (угол близок к 90°) молекулу, а трехвалентный атом с тремя валентными p -орбиталями образует молекулу, имеющую форму пирамиды.

4) Хлорид цинка ZnCl_2 . При образовании молекул типа ZnX_2 , BeX_2 (X — галоген) происходит sp -гибридизация связей. При этом возникают химические связи, направленные под углом 180° друг к другу, т. е. молекулы линейны:



В то же время графическая формула молекулы ZnCl_2 может быть написана различным образом:



Разобранные примеры с ZnCl_2 и BF_3 показывают, что *гибридизация* электронных орбиталей, как оказывается, характерна не только для соединений атома углерода, но и для соединений *любых атомов, когда несколько связей образуется электронами, принадлежащими к разным, но близким по энергиям орбиталям.*

Кроме разобранных в настоящей задаче случаев sp - и sp^2 -гибридизации, очень распространенным является случай sp^3 -гибридизации (например, в молекуле метана CH_4 или силана SiH_4).

Задача 5. Изотоп ${}_{84}^{210}\text{Po}$, излучающий α -частицы, используется в смеси с бериллием в нейтронных источниках. Через сколько времени интенсивность таких источников уменьшится в 32 раза (период полураспада полония равен 138 дням)?

Решение. Период полураспада τ — время, за которое

самопроизвольно распадается половина атомов исходного вещества:

$$m_1 = \frac{1}{2} m_0,$$

где m_0 — масса исходных атомов, m_1 — масса атомов через время τ .

За время, равное двум периодам полураспада, распадается половина оставшихся атомов, т. е. $\frac{m_1}{2}$, и остается:

$$m_2 = \frac{1}{2} m_1 = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} m_0 \right) = \left(\frac{1}{2} \right)^2 m_0$$

массы исходного вещества.

За три периода полураспада остается:

$$m_3 = \frac{1}{2} m_2 = \left(\frac{1}{2} \right)^3 m_0$$

массы исходного вещества.

Отсюда легко вывести формулу, по которой, зная период полураспада τ и исходную массу вещества, можно найти массу оставшихся атомов в любой момент времени t :

$$m_t = \left(\frac{1}{2} \right)^{t/\tau} m_0$$

Эта показательная функция должна решаться логарифмированием, но в тех случаях, когда дано время, равное 2, 4, 8, 16, 32 и т. д. (кратное периодам полураспада), задача легко решается арифметически:

$$\frac{m_t}{m_0} = \left(\frac{1}{2} \right)^{t/\tau} = \frac{1}{32} = \left(\frac{1}{2} \right)^5; \quad m_t = \left(\frac{1}{2} \right)^5 m_0,$$

отсюда $t = 5\tau = 5 \cdot 138 = 690$ сут.

Задача может быть решена и при использовании так называемой постоянной распада, которая характеризует неустойчивость ядер радиоактивного изотопа. Постоянная распада рассчитывается по формуле:

$$k = \frac{2,303}{t} \lg \frac{A_1}{A_2}, \quad (1)$$

где t — период распада; A_1 — начальная активность изотопа; A_2 — активность изотопа по истечении времени t (в нашем случае t соответствует периоду полураспада τ).

$$k = \frac{2,303}{138} \lg 2 = 0,005$$

По условиям задачи интенсивность источника должна уменьшаться в 32 раза, т. е. $A_1 = 32 A_2$. В уравнение (1) под-

ставим полученное значение константы, активности и определим время:

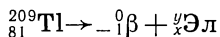
$$0,005 = \frac{2,303}{t} \lg 32$$

$$t = \frac{2,303 \cdot \lg 32}{0,005} = 690 \text{ сут.}$$

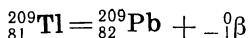
О т в е т: 690 сут.

Задача 6. а) Изотоп какого элемента образуется при испускании изотопом $^{209}_{81}\text{Tl}$ β -частицы? б) Изотоп какого элемента образуется при испускании изотопом $^{213}_{84}\text{Po}$ α -частицы? Напишите уравнения ядерных превращений для (а) и (б).

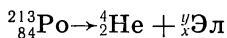
Р е ш е н и е. а) Составим схему ядерной реакции:



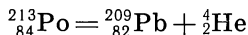
Поскольку сумма верхних и нижних символов у элементов в обеих частях уравнения должна быть постоянной, то находим, что искомый элемент должен обладать порядковым номером $x = 82$ (и, следовательно, это Pb) с массовым числом $y = 209$. Следовательно:



б) Составим схему ядерной реакции:



Рассуждая аналогичным образом (или используя правило смещения) записываем:



Таким образом, и в этом радиоактивном превращении вновь получают атомы свинца $^{209}_{82}\text{Pb}$.

ЗАДАЧИ

21. Напишите электронные конфигурации, используя буквенное обозначение орбиталей (s , p , d и т. д.), а также соответствующую графическую запись с помощью квантовых ячеек (см. задачу 1 данного раздела) для следующих элементов: ${}_7\text{N}$, ${}_{14}\text{Si}$, ${}_{24}\text{Cr}$, ${}_{29}\text{Cu}$, ${}_{26}\text{Fe}$, ${}_{36}\text{Kr}$.
22. Напишите, какие значения валентности могут проявлять в своих соединениях следующие элементы: F, Br, O, Se, Xe — и дайте этому обоснование.
23. Укажите главный признак элементов, составляющих побочные подгруппы периодической системы.
24. Объясните, почему на первом энергетическом уровне не может быть более двух электронов, на втором уровне — более восьми, на третьем — более восемнадцати и т. д. Выведите общую формулу, описывающую максимальное

- число электронов N на данном уровне в зависимости от главного квантового числа n .
25. Сформулируйте принцип Паули (запрет Паули), правило Хунда и энергетическое правило (правило наименьшей энергии Клечковского), столь важные при написании электронных конфигураций.
 26. Какие элементы и почему объединены в общую группу лантаноидов? Почему в группы лантаноидов и актиноидов входит по 14 элементов?
 27. Какие элементы и почему объединены в общую группу актиноидов?
 28. Приведите свои соображения о том, почему VIII группу периодической системы образуют триады элементов.
 29. Дайте обоснование валентности и степени окисления азота в азотной кислоте.
 30. Дайте обоснование валентности и степени окисления азота в хлориде аммония.
 31. Определите степени окисления элементов Mn, F, O, Fe, S, H, Cr, Si в следующих соединениях:
а) KMnO_4 ; б) F_2O ; в) H_2SiF_6 ; г) FeS_2 ; д) $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$; е) $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$; ж) Fe_3O_4 ; з) H_2O_2 ; и) K_2MnO_4 ; к) $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$.
 - 32*. Энергии диссоциации в ряду молекул Cl_2 , Br_2 , I_2 уменьшаются (239 кДж/моль, 192 кДж/моль, 149 кДж/моль соответственно), однако энергия диссоциации молекулы F_2 (151 кДж/моль) значительно меньше по сравнению с молекулой Cl_2 и выпадает из общей закономерности. Дайте развернутое объяснение приведенным фактам.
 33. Напишите графические формулы молекул следующих соединений: перхлорат калия, хлорат калия, хлорит калия, гипохлорит калия, хлорид калия.
 - 34*. Напишите графические формулы дихромата калия, перманганата калия, тиосульфата натрия, пирита, азотной кислоты, дифосфорной кислоты.
 35. Дайте обоснование структурным (пространственным) формулам следующих молекул: AlCl_3 , NH_3 , H_2O , BeF_2 .
 - 36*. Приведите структурные формулы органических веществ: этилена, ацетилен, бензола, циклогексана и дайте им обоснование.
 - 37*. Как известно, изотоп радиоактивного углерода $^{14}_6\text{C}$ широко используется для определения «возраста» предметов, образованных веществами органического происхождения. Приведите уравнения радиоактивных превращений, позволяющих определить возраст предметов, в состав которых входит углерод.
 38. а) При облучении нейтронами изотопа $^{56}_{26}\text{Fe}$ образуются протоны и изотопы нового элемента.
б) Изотоп бериллия ^9_4Be , поглощая одну α -частицу и испуская нейтрон, превращается в изотоп другого элемента.

Какие элементы образуются? Напишите уравнения ядерных превращений (а) и (б).

- 39*. Через сколько лет количество радиоактивного стронция-90 (период полураспада 27 лет), выпавшего с радиоактивными осадками в результате ядерного взрыва, станет менее 1,5% от того количества, которое было обнаружено в момент после ядерного взрыва?
40. Атомы урана ${}_{92}^{238}\text{U}$ испускают α -частицы. Получающиеся при этом атомы другого элемента испускают β -частицы, при этом образуются атомы нового элемента, испускающие β -частицы. Определите, изотоп какого элемента образуется в результате этих трех последовательных превращений.
41. При облучении изотопов тантала-181 и ниобия-97 медленными нейтронами образуются радиоактивные изотопы тантала и ниобия, претерпевающие β -распад. В какие элементы после распада превращаются тантал и ниобий? Напишите уравнения ядерных превращений.
42. Первой в истории искусственной ядерной реакцией была реакция изотопа азота-14 с α -частицами; получаемыми при распаде полония-210. В результате ядерной реакции азот превратился в изотоп кислорода ${}_{8}^{17}\text{O}$. Напишите уравнения происходящих ядерных превращений.
43. Э. Резерфорд обнаружил, что колба, покрытая изнутри сульфидом цинка и заполненная радоном, светится, причем интенсивность свечения уменьшается со временем. Вычислите, через сколько суток интенсивность уменьшалась в 16 раз, с учетом того, что период полураспада радона равен 3,8 сут.
44. Как изменяется полярность в ряду молекул: а) HF , HCl , HBr , HI ; б) NH_3 , PH_3 , AsH_3 ?
45. Сопоставьте разности электроотрицательностей в гидридах щелочных металлов от лития к цезию. Как меняется характер связей в гидридах?

§ 3. РАСТВОРЫ. ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОЙ ДИССОЦИИАЦИИ

При изучении растворов обратите особое внимание на природу растворов и механизм процесса растворения в свете атомно-молекулярного учения (тепловые явления при растворении, самопроизвольное образование растворов, диффузия, гидратация, возможность образования пересыщенных растворов). Обратите также внимание на условия выполнимости закона Генри при растворении газов в жидкости (зависимость растворимости газов от давления). Особое внимание следует уделить способам выражения концентрации растворов, важно усвоить представление о двух видах объемной концентрации

растворов — молярной концентрации и молярной концентрации эквивалента, выражаемых в молях на литр.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ

Задача 1. 50 г насыщенного при 40 °С раствора содержат 6,5 г сульфата калия. Определите массовую долю (%) соли в растворе и ее растворимость. Может ли насыщенный раствор быть разбавленным, а концентрированный — ненасыщенным?

Решение. В соответствии с определением концентрации, выражаемой массовой долей (%) растворенного вещества:

50 г раствора содержат 6,5 г K_2SO_4

100 г раствора содержат x г K_2SO_4

$50:6,5=100:x$; $x=13$ г

Следовательно, массовая доля (%) K_2SO_4 в растворе равна 13%.

Так как данный раствор насыщен при 40 °С (из условия), то растворимость сульфата калия при этой температуре находим (по определению растворимости соли) следующим образом: на 43,5 г растворителя (50 г — 6,5 г) приходится 6,5 г K_2SO_4 на 100 г растворителя приходится y г K_2SO_4

$43,5:6,5=100:y$, отсюда $y=14,9$ г

Следовательно, растворимость K_2SO_4 при 40 °С составляет 14,9 г. Насыщенные растворы могут быть разбавленными, а концентрированные — ненасыщенными. Примерами могут служить насыщенный раствор сульфата бария $BaSO_4$, являющийся в то же время исключительно разбавленным, и концентрированный раствор серной кислоты (~90%-ный), являющийся ненасыщенным.

Ответ: массовая доля (%) соли K_2SO_4 в растворе равна 13%, растворимость ее — 14,9 г на 100 г воды.

Задача 2. Сколько граммов хлорида натрия выпадает в осадок из 600 г раствора, насыщенного при 80 °С, при охлаждении его до 0 °С? Растворимость $NaCl$ составляет 380 г при 80 °С и 358 г при 0 °С.

Решение. При 80 °С для насыщенного раствора выполняется следующая зависимость:

138 г раствора содержат 38 г $NaCl$

600 г раствора содержат x г $NaCl$

$138:38=600:x$; $x=165,2$ г

Таким образом, в данном насыщенном растворе при 80 °С на растворитель остается (600 — 165,2) 434,8 г. Отсюда, при 0 °С на данную массу растворителя приходится следующая масса $NaCl$:

на 100 г H_2O приходится 35,8 г $NaCl$ (данные по растворимости)

на 434,8 г H_2O приходится y г $NaCl$

$$100:35,8=434,8:y; y=155,7 \text{ г}$$

Следовательно, в осадок выпадает $(165,2 - 155,7)$ 9,5 г NaCl.

Подчеркнем одну очень распространенную ошибку при решении подобных задач. При рассмотрении вопроса о том, сколько соли может содержать раствор после охлаждения, часто записывают неверную пропорциональную зависимость:

$$\begin{aligned} 135,8 \text{ г раствора при } 0^\circ \text{C} &\text{ содержат } 35,8 \text{ г NaCl} \\ 600 \text{ г раствора при } 0^\circ \text{C} &\text{ содержат } z \text{ г NaCl} \end{aligned} \quad (1)$$

Отсюда, $z=158,2$ г, и тогда получается, что в осадок должно было бы выпасть: $165,2 \text{ г} - 158,2 \text{ г} = 7,0 \text{ г}$ соли.

Ошибочность зависимости (1) состоит в том, что при 0°C масса раствора уже не составляет 600 г (!), так как часть соли при охлаждении раствора выпадает в осадок.

О т в е т: 9,5 г хлорида натрия.

После анализа задач 1 и 2, в которых используются понятия «массовая доля (%) растворенного вещества» и «растворимость солей», очень полезно вновь тщательно изучить соответствующий теоретический материал.

Проиллюстрируем различные способы выражения концентраций на следующем простом примере: имеется 1 л раствора, содержащего 80,8 г уксусной кислоты (плотность раствора $\rho = 1,0097 \text{ г/см}^3$).

Воспользовавшись определением, рассчитываем *массовую долю (%)* уксусной кислоты в растворе:

$$\omega(\text{CH}_3\text{COOH}) = \frac{80,8 \text{ г}}{1009,7 \text{ г}} \cdot 100\% = 8,0\%$$

Расчет молярной концентрации. Молярная масса уксусной кислоты $M(\text{CH}_3\text{COOH})$ равна 60, следовательно, уксусной кислоте массой 80,8 г соответствует количество вещества:

$$\nu(\text{CH}_3\text{COOH}) = \frac{m}{M} = \frac{80,8 \text{ г}}{60 \text{ г/моль}} = 1,35 \text{ моль}$$

Тогда молярная концентрация (число молей уксусной кислоты в 1 л раствора) составит 1,35 моль/л, что обозначается так: $[\text{c}(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1,35 \text{ моль/л}]$, допускается обозначение: 1,35 М CH_3COOH .

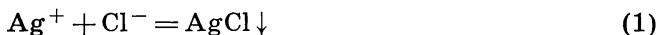
Расчет молярной концентрации эквивалента. Так как уксусная кислота одноосновна, то ее эквивалент равен по величине молярной массе. Поэтому в данном случае молярная концентрация эквивалента кислоты совпадает с ее молярной концентрацией и также равна 1,35 моль/л, что обозначается так: $[\text{c}(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1,35 \text{ моль/л}]$.

Напомним, что концентрация насыщенного раствора для данного вещества при строго определенных условиях (температура, растворитель) — величина постоянная и отвечает растворимости вещества. Растворимость выражают числом

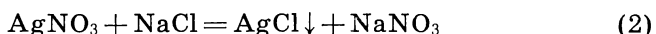
граммов растворенного вещества в 100 г растворителя (в СИ в граммах на 1 л растворителя).

Задача 3. Раствор, содержащий 13 г нитрата серебра, смешан с 41,7 мл 26%-ного раствора хлорида натрия ($\rho = 1,2 \text{ г/см}^3$). Какие вещества остались в растворе после того, как осадок был отфильтрован? Найдите их массы.

Решение. При взаимодействии нитрата серебра AgNO_3 с хлоридом натрия NaCl выпадает в осадок нерастворимый хлорид серебра:



В молекулярной форме уравнение реакции следует записать следующим образом:



Таким образом, количество вещества осадка AgCl будет определяться количествами веществ AgNO_3 и NaCl , причем эти соединения реагируют, согласно уравнениям (1) и (2), в молярном соотношении 1:1. При решении этой задачи следует иметь в виду, что может осуществляться один из трех вариантов соотношения количеств веществ:

1) NaCl взят в избытке. Тогда серебро из AgNO_3 в виде соли AgCl осаждается полностью, и в растворе, после того как осадок AgCl отфильтрован, останется NaNO_3 и NaCl ;

2) NaCl взят в недостатке (т. е. в избытке взят AgNO_3). В этом случае в растворе после фильтрования выпавшего осадка останется AgNO_3 и NaNO_3 ;

3) NaCl и AgNO_3 взяты в эквимольном отношении. В растворе после фильтрования AgCl останется только NaNO_3 .

Расчет. 1-й способ.

1. Массу раствора NaCl вычисляем по формуле:

$$m = V \cdot \rho = 41,7 \text{ мл} \cdot 1,2 \text{ г/мл} = 50,04 \text{ г}$$

Теперь можно найти массу NaCl в 50,04 г 26%-ного раствора NaCl :

100 г 26%-ного раствора NaCl содержат 26 г NaCl

50,04 г 26%-ного раствора NaCl содержат x г NaCl

$$100 : 26 = 50,04 : x; x = 13,01 \text{ г}$$

(При решении задач такого типа гораздо удобнее пользоваться молярными соотношениями, или, другими словами, решать задачу в молях — см. 2-й способ решения этой задачи.)

2. Определим, сколько граммов NaCl требуется для взаимодействия с 13 г AgNO_3 .

Согласно уравнению реакции (2),

170 г AgNO_3 взаимодействуют с 58,5 г NaCl

13 г AgNO_3 взаимодействует с y г NaCl

$$170 : 58,5 = 13 : y; y = 4,47 \text{ г}$$

Таким образом, прореагировало 4,47 г NaCl, а взятый раствор содержал 13,01 г NaCl.

Итак, расчет показывает, что NaCl взят в избытке, поэтому в растворе останется:

$$13,01 \text{ г} - 4,47 \text{ г} = 8,54 \text{ г (NaCl)}$$

3. Определим массу NaNO_3 , образовавшегося в результате реакции (2):

из 170 г AgNO_3 образуется 85 г NaNO_3

из 13 г AgNO_3 образуется z г NaNO_3

$$170:85 = 13:z; z = 6,5 \text{ г}$$

Таким образом, после окончания реакции в растворе остается 8,54 г непрореагировавшего NaCl, образуется 6,5 г NaNO_3 и выпадает осадок AgCl (масса его не спрашивается в условии задачи).

2-й способ. Решим эту задачу, используя не массовые, а молярные соотношения. Мы специально приводим два решения, чтобы на примере показать, насколько удобнее и нагляднее можно решить задачу, используя подход «в молях».

Ранее мы нашли, что исходный раствор содержит 13,01 г NaCl и 13,00 г AgNO_3 (по условию задачи), что составляет:

$$\nu(\text{NaCl}) = \frac{m}{M} = \frac{13,01 \text{ г}}{58,5 \text{ г/моль}} = 0,22 \text{ моль}$$

$$\nu(\text{AgNO}_3) = \frac{m}{M} = \frac{13,00 \text{ г}}{170 \text{ г/моль}} = 0,076 \text{ моль}$$

Отсюда сразу видно, что в исходном растворе хлорид натрия содержится в избытке (осуществляется первый вариант соотношения исходных веществ). А так как, согласно уравнению (2), вещества реагируют в молярном отношении 1:1, значит 0,076 моль AgNO_3 нацело реагируют с 0,076 моль NaCl, образуя при этом 0,076 моль NaNO_3 (остается в растворе) и 0,076 моль AgCl (выпадает в осадок). Кроме того, в растворе еще остается $(0,22 - 0,076)$ 0,146 моль непрореагировавшего NaCl.

Таким образом, после окончания реакции в растворе содержатся нитрат натрия и хлорид натрия, массы которых составляют:

$$m(\text{NaNO}_3) = \nu \cdot M = 0,076 \text{ моль} \cdot 85 \text{ г/моль} = 6,5 \text{ г}$$

$$m(\text{NaCl}) = \nu \cdot M = 0,146 \text{ моль} \cdot 58,5 \text{ г/моль} = 8,5 \text{ г}$$

О т в е т: в растворе осталось 6,5 г NaNO_3 и 8,54 г NaCl.

Задача 4. Колба заполнена сухим хлороводородом. Затем колбу заполнили водой, в которой полностью растворился хлороводород. Определите массовую долю (%) хлороводорода в полученном растворе.

Решение. 1) Обозначим объем колбы как V л. Тогда массу HCl , занимающего этот объем, выражаем на основе пропорции:

масса HCl 36,5 г занимает молярный объем V_m (22,4 л)
 масса HCl x г занимает объем V л

$$x = \frac{36,5}{22,4} \cdot V$$

2) После заполнения колбы водой масса раствора (с учетом того, что плотность воды равна 1 г/см³ или 1000 г/л) стала равна:

$$m = 1000V + \frac{36,5}{22,4} V$$

3) Определим массовую долю (%) HCl в полученном растворе:

$$(1000 V + \frac{36,5}{22,4} V) \text{ г раствора содержит } \frac{36,5}{22,4} V \text{ г HCl}$$

$$100 \text{ г раствора содержат } y \text{ г HCl}$$

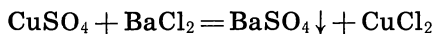
$$y = 0,163\%$$

Ответ: массовая доля HCl 0,163%.

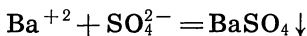
Задача 5. Могут ли одновременно быть в растворе следующие пары веществ: NaOH и P_2O_5 , Ba(OH)_2 и CO_2 , KOH и NaOH , CuSO_4 и BaCl_2 , HCl и $\text{Al(NO}_3)_3$? Ответ поясните.

Решение. Теория электролитической диссоциации доказывает, что электролиты диссоциируют в воде. Каждое вещество из приведенных в условии задачи (за исключением газообразного CO_2 и твердого P_2O_5) является электролитом и существует в растворе в виде ионов. При рассмотрении растворов, приготовленных из двух или более индивидуальных веществ, нужно помнить, что взаимодействие между ними может происходить с образованием нерастворимых, труднодиссоциирующих или газообразных веществ. В таких случаях исходные вещества не могут одновременно находиться в растворе.

1) Рассмотрим возможность реакции обмена между CuSO_4 и BaCl_2 :



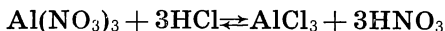
Исходные вещества CuSO_4 и BaCl_2 полностью диссоциированы в растворе. Из продуктов реакции хорошо диссоциирует соединение CuCl_2 ; BaSO_4 — труднорастворимое соединение, оно выпадает в осадок. Запишем уравнение реакции в ионном виде:



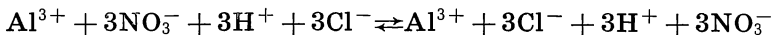
В растворе CuSO_4 и BaCl_2 одновременно существовать не могут.

2) KOH и NaOH хорошо диссоциированы в растворе. В растворе будут присутствовать ионы K^+ , Na^+ , OH^- , концентрация их остается постоянной. Данные соединения в растворе существовать одновременно могут.

3) Аналогичным образом рассмотрим возможность существования в растворе пары $Al(NO_3)_3$ и HCl :

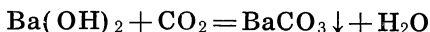


Исходные вещества $Al(NO_3)_3$, HCl и продукты реакции $AlCl_3$ и HNO_3 полностью диссоциированы в растворе. Уравнение можно переписать в виде:



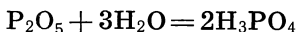
Из уравнения видно, что в растворе будут находиться ионы всех четырех видов, иначе говоря, раствор, содержащий одновременно $Al(NO_3)_3$ и HCl , приготовить можно.

4) При пропускании оксида углерода (IV) через раствор $Ba(OH)_2$ выпадает осадок труднорастворимой соли $BaCO_3$ и образуется малодиссоциирующее соединение H_2O :

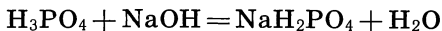


Исходные вещества одновременно в растворе быть не могут.

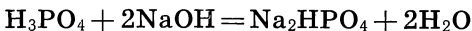
5) Оксид фосфора (V) реагирует с водой с образованием ортофосфорной кислоты H_3PO_4 :



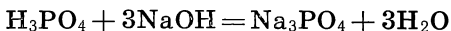
которая затем нейтрализуется щелочью. В зависимости от соотношения между H_3PO_4 и $NaOH$ образуются или



или



или



Исходные вещества одновременно в растворе быть не могут.

ЗАДАЧИ

46. Какова будет массовая доля (%) азотной кислоты в растворе, если к 40 мл 96%-ного раствора HNO_3 ($\rho = 1,5$ г/см³) прилить 30 мл 48%-ного раствора HNO_3 ($\rho = 1,3$ г/см³)?
47. Определите молярную концентрацию азотной кислоты, полученной смешиванием 40 мл 96%-ного раствора HNO_3 ($\rho = 1,5$ г/см³) и 30 мл 48%-ного раствора HNO_3 ($\rho = 1,3$ г/см³), если полученный раствор имеет плотность $\rho = 1,45$ г/см³.
48. Упарили вдвое (по объему) 4 л 10%-ного раствора $NaCl$ ($\rho = 1,07$ г/см³). Определите молярную концентрацию нового раствора.

49. Раствор содержит соли NaBr и NaCl . Массовые доли (%) их в растворе одинаковы. Определите массовые доли (%) обеих солей, если для их полного осаждения из 1 кг раствора потребовалось добавить 1 л 8%-ного раствора AgNO_3 ($\rho = 1,07 \text{ г/см}^3$).
50. Сколько граммов нитрата бария выделится из раствора, насыщенного при 100°C и охлажденного до 0°C , если во взятом растворе было 50 мл воды? Растворимость нитрата бария при 0°C равна 50 г, а при 100°C — 342 г.
51. К 40,3 мл 37,8%-ного раствора азотной кислоты ($\rho = 1,24 \text{ г/см}^3$) осторожно прибавлен 33,6%-ный раствор гидроксида калия до полной нейтрализации. Какая масса соли выпадает в осадок при охлаждении раствора до 0°C , если в насыщенном при этой температуре растворе массовая доля соли 11,6%?
52. К 44,47 мл 12,9%-ной соляной кислоты ($\rho = 1,12 \text{ г/см}^3$) осторожно прибавлен 50,4%-ный раствор гидроксида калия до полной нейтрализации. Полученный раствор охладили до 0°C . Какое количество соли выпадает при этом в осадок, если в насыщенном при 0°C растворе массовая доля соли составляет 22,2%?
53. Определите массовую долю (%) сульфата железа (II) в растворе, полученном при растворении 208,5 г железного купороса $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ в 1291,5 г воды.
54. К 416 г 10%-ного раствора хлорида бария прилили избыток 14%-ного раствора соды. Осадок отфильтровали. Когда к фильтрату прибавили 438 г 5%-ного раствора соляной кислоты, выделение газа прекратилось. Определите массу раствора соды.
55. К 250 г раствора хлорида кальция прилили 500 г 8,48%-ного раствора соды. Осадок был отфильтрован, и к фильтрату прибавляли 10%-ный раствор кислоты до прекращения выделения пузырьков газа — всего было израсходовано 146 г раствора соляной кислоты. Определите массовую долю (%) хлорида кальция в исходном растворе.
- 56*. Смесь гидроксида натрия и гидроксида бария общей массой 3,82 г растворили в 71,18 мл воды. Для полной нейтрализации полученного раствора потребовалось 12,5 мл раствора соляной кислоты [$c(\text{HCl}) = 4 \text{ моль/л}$]. Какова масса осадка, выпадающего при действии на нейтрализованный раствор избытка раствора сульфата магния? Какова массовая доля (%) каждого из оснований в исходном растворе?
57. Какие из нижеприведенных реакций идут практически до конца (укажите необходимые для этого условия):
а) соляная кислота + нитрат серебра; б) серная кислота + хлорид натрия; в) сульфат натрия + гидроксид бария; г) азотная кислота + гидроксид калия; д) хлорид калия +

- + азотная кислота; е) хлорид натрия + гидроксид калия?
58. Можно ли приготовить растворы, которые содержали бы одновременно: 1) CaCl_2 и NH_4HCO_3 ; 2) K_2SO_4 и $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$; 3) MgCl_2 и NaOH ; 4) KCl и H_2SO_4 ? Ответ поясните и приведите ионные уравнения реакций.
 - 59*. Одинаковое ли количество вещества соли серебра будет осаждаться из 10 мл 0,5 М раствора AgNO_3 при добавлении по 10 мл 1 М растворов KCl , NaCl , HCl ?
 60. Одинаковое ли количество вещества соли серебра будет осаждаться из 10 г 30%-ного раствора AgNO_3 при добавлении по 10 г растворов KCl , NaCl , HCl с массовой долей каждой соли в растворе 3%?
 61. Одинаковое ли количество вещества соли серебра будет осаждаться из 10 г 30%-ного раствора AgNO_3 растворами KCl , NaCl , HCl , массой 10 г каждый, с массовой долей каждой соли 3%?
 62. К 100 мл 10,6%-ного раствора CaCl_2 ($\rho = 1,05 \text{ г/см}^3$) добавлено 30 мл 38,55%-ного раствора карбоната натрия ($\rho = 1,10 \text{ г/см}^3$). Определите массовые доли (%) соединений, содержащихся в растворе после отделения осадка.
 - 63*. Колба заполняется сухим аммиаком при 17°C и давлении $1,01 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Затем колба опускается в воду при тех же условиях, и вода по мере растворения аммиака полностью заполняет ее. Определите массовую долю (%) NH_4OH в полученном растворе (плотность воды при 17°C считать равной единице).
 64. Сколько граммов оксида серы (VI) SO_3 надо растворить в 100 г 96,4%-ного раствора серной кислоты для получения 20%-ного раствора оксида серы (VI) в 100%-ном растворе серной кислоты (т. е. 20%-ного олеума).
 65. К 50 г 5%-ного раствора хлорида бария прибавили 50 г 5%-ного раствора серной кислоты. Определите массовые доли (%) веществ, оставшихся в полученном растворе после отделения осадка.
 66. К 200 г 8,32%-ного раствора хлорида бария прибавили 17,7 мл 14,2%-ного раствора сульфата натрия ($\rho = 1,13 \text{ г/см}^3$). Определите массовые доли (%) соединений, содержащихся в растворе после отделения осадка.
 67. Определите молярную концентрацию водного раствора этилового спирта $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, полученного смешением 1 л 40%-ного раствора спирта ($\rho = 0,94 \text{ г/см}^3$) и 1 л 60%-ного раствора спирта ($\rho = 0,94 \text{ г/см}^3$), если полученный раствор имеет плотность $\rho = 0,92 \text{ г/см}^3$.
 68. Определите молярную концентрацию раствора сульфата меди (II), который получен сливанием 10 мл 10%-ного раствора ($\rho = 1,10 \text{ г/см}^3$) с 10 мл 1%-ного раствора ($\rho = 1,00 \text{ г/см}^3$) сульфата меди (II) (полученный раствор имеет плотность $1,05 \text{ г/см}^3$).

69. 100 л хлороводорода, измеренные при нормальных условиях, растворены в 1 л воды. Полученный раствор занимает объем 1,09 л. Вычислите массовую долю (%) хлороводорода и молярную концентрацию этого раствора.
- 70*. Через раствор, содержащий 2 г смеси хлорида и иодида натрия в 100 мл воды, пропустили 1 л газообразного хлора. Полученный раствор выпарили и осадок прокалили при 200—300 °С. При этом было получено 1,78 г осадка. Определите массовые доли (%) солей в исходном растворе.
- 71*. В растворе массой 100 г, содержащем смесь соляной и азотной кислот, растворяется максимум 24 г оксида меди (II). После упаривания раствора и прокаливания масса остатка составляет 29,5 г. Напишите уравнения происходящих реакций и определите массовые доли (%) соляной и азотной кислот в исходном растворе.
72. Как известно, цинк активно реагирует с раствором серной кислоты. Однако при добавлении к этому раствору ацетата натрия выделение пузырьков газа резко замедляется. Как можно объяснить это явление?
73. Раствор Na_3PO_4 имеет сильнощелочную реакцию, а раствор NaH_2PO_4 — слабокислую. Дайте объяснение этим фактам.
- 74*. К чистой воде прибавили кислоту, вследствие чего pH раствора стало равным 4,0. Найдите молярную концентрацию ионов OH^- (температуру считать равной 25 °С).
- 75*. Произведение растворимости $\text{Ag}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ равно $2,0 \cdot 10^{10}$. Вычислите молярную концентрацию ионов Ag^+ в насыщенном растворе соли $\text{Ag}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$.
- 76*. Рассчитайте молярную концентрацию ионов водорода в водном растворе, если pH раствора 3,45.
77. В зависимости от степени электролитической диссоциации все электролиты условно делят на сильные ($\alpha > 30\%$), средние (α от 30 до 3%) и слабые ($\alpha < 3\%$). Азотистая кислота HNO_2 диссоциирует в растворе на ионы H^+ и NO_2^- . 1 л 0,1 М раствора HNO_2 содержит $6,15 \cdot 10^{22}$ недиссоциированных молекул и образовавшихся ионов. Определите степень диссоциации α (%) азотистой кислоты в этом растворе (отношение числа продиссоциировавших молекул к общему числу молекул кислоты, внесенных в раствор). Укажите, какой по силе является эта кислота.
78. В стакан, содержащий 50 мл 0,2 М раствора гидроксида бария, опущены электроды, включенные в сеть и соединенные последовательно с электрической лампочкой. При приливании по каплям к этому раствору из бюретки некоторого объема 0,1 М раствора серной кислоты лампочка погасла. Какой объем 0,1 М раствора серной кислоты был взят?

79. Жидкий аммиак практически не проводит электрического тока. Будет ли меняться электропроводность при добавлении небольших количеств: а) твердого оксида углерода (IV); б) жидкого сероводорода?
80. В раствор гидроксида кальция опущены электроды, соединенные с источником тока. В цепь включена лампочка. Приведите график зависимости накала лампочки от объема CO_2 , пропускаемого через раствор.

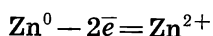
§ 4. ОКИСЛИТЕЛИ И ВОССТАНОВИТЕЛИ. ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ РЕАКЦИИ. РЯД НАПРЯЖЕНИЙ. ЭЛЕКТРОЛИЗ РАСТВОРОВ И РАСПЛАВОВ

Для решения задач этого раздела необходимо знать основные вещества — окислители и восстановители, уметь использовать методы *электронного* или *электронно-ионного* балансов для подбора коэффициентов в уравнениях окислительно-восстановительных реакций.

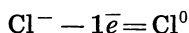
Химические реакции, протекающие с изменением степени окисления элементов, входящих в состав реагирующих веществ, называются окислительно-восстановительными.

Степень окисления элементов при неорганических реакциях меняется потому, что, как правило, их атомы «отдают» или «присоединяют» электроны, образуя молекулы с ионными или ковалентными связями.

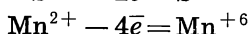
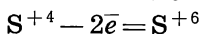
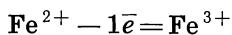
Окисление — это процесс отдачи электронов атомом, молекулой или ионом. Если атом отдает свои электроны, то он приобретает положительный заряд, например:



Если отрицательно заряженный ион (заряд -1), например Cl^- , отдает 1 электрон, то он становится нейтральным атомом:

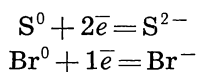


Если положительно заряженный ион или атом отдает электроны, то величина его положительного заряда увеличивается соответственно числу отданных электронов:

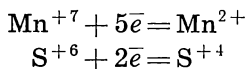


Восстановление — это процесс присоединения электронов атомом, молекулой или ионом.

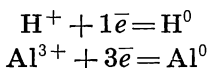
Если атом присоединяет электроны, то он превращается в отрицательно заряженный ион:



Если положительно заряженный ион принимает электроны, то величина его заряда уменьшается, например:



или он может перейти в нейтральный атом:



Окислителем является атом, молекула или ион, принимающий электроны.

Восстановителем является атом, молекула или ион, отдающий электроны.

Окислитель в процессе реакции восстанавливается, а восстановитель — окисляется.

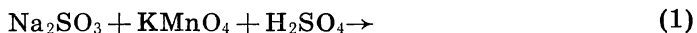
Следует помнить, что рассмотрение окисления-восстановления как процесса отдачи (и принятия) электронов одними атомами или ионами другим не всегда отражает истинное положение, так как во многих случаях происходит не полный перенос электронов, а только смещение электронного облака связи от одного атома к другому.

Однако для составления уравнения окислительно-восстановительных реакций не имеет существенного значения, какая связь при этом образуется — ионная или ковалентная. Поэтому для простоты будем говорить о присоединении или отдаче электронов независимо от типа связи.

Составление уравнений окислительно-восстановительных реакций и подбор коэффициентов. При составлении уравнения окислительно-восстановительной реакции необходимо определить восстановитель, окислитель и число отдаваемых и принимаемых электронов. Как правило, коэффициенты подбирают, используя либо метод *электронного баланса*, либо метод *электронно-ионного баланса* (иногда последний называют методом *полуреакций*).

Как подбирают коэффициенты в уравнениях окислительно-восстановительных реакций этими методами, мы проиллюстрируем на примере одной реакции.

Составим уравнение следующей окислительно-восстановительной реакции:



Прежде всего нужно попытаться определить, как пойдет реакция, какие продукты будут образовываться.

Рассуждаем таким образом: в молекуле Na_2SO_3 натрий находится в виде иона Na^{+} , т. е. он уже окислен (отдал электрон), отдавать же еще свои электроны он не может,

поэтому Na^+ не может быть восстановителем. Казалось бы, ион Na^+ может проявлять окислительные свойства. Однако известно, что насколько сильны восстановительные свойства металла в свободном состоянии (а натрий, как и все щелочные металлы, очень сильный восстановитель), настолько его ион является слабым окислителем. Поэтому ион натрия Na^+ в присутствии более сильного окислителя не может быть окислителем.

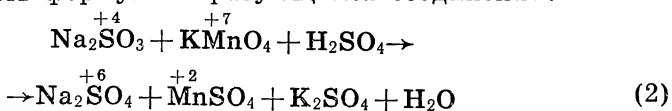
Сера в ионе SO_3^{2-} находится в промежуточной степени окисления (S^{+4}) и в зависимости от условий реакции может отдавать или принимать электроны. При взаимодействии с таким сильным окислителем, как перманганат калия KMnO_4 , ион SO_3^{2-} будет проявлять восстановительные свойства за счет изменения степени окисления серы от S^{+4} до S^{+6} . Казалось бы, что и кислород O^{-2} в ионе SO_3^{2-} мог бы проявлять восстановительные свойства, но поскольку свободный кислород является сильным окислителем, то, следовательно, в присутствии более сильного восстановителя S^{+4} кислород O^{-2} в составе иона не может быть восстановителем.

В молекуле KMnO_4 ион калия K^+ (аналогично иону натрия в Na_2SO_3) восстановительных свойств проявлять не может. Рассмотрим далее KMnO_4 . Марганец в ионе MnO_4^- , находясь в степени окисления $+7$, является очень сильным окислителем и в зависимости от условий реакции может принимать различное число электронов, восстанавливаясь до степени окисления $+2$, $+4$ и $+6$. Проявлять восстановительные свойства Mn^{+7} , конечно, не может, так как он находится в максимальной степени окисления.

Двухвалентный кислород в соединении MnO_4^- аналогично кислороду в ионе SO_3^{2-} не может быть восстановителем. В реакции участвует разбавленная серная кислота, она в такой концентрации не может проявлять окислительно-восстановительных свойств (за счет иона SO_4^{2-}).

Следовательно, в молекуле Na_2SO_3 ион SO_3^{2-} — восстановитель, он отдает два электрона и переходит в ион SO_4^{2-} ; в молекуле KMnO_4 ион MnO_4^- — окислитель, он в кислой среде принимает пять электронов и переходит в ион Mn^{2+} .

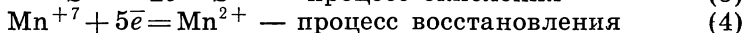
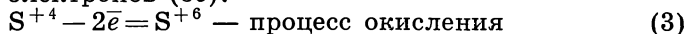
Таким образом, в правой части уравнения (1) можно теперь написать формулы образующихся соединений:



Теперь необходимо подобрать коэффициенты в этом уравнении. Используем метод «электронного баланса».

Из уравнения (2) видно, что степень окисления серы изменилась на 2 единицы, а марганца — на 5 единиц. Такое изменение степени окисления возможно только в том случае,

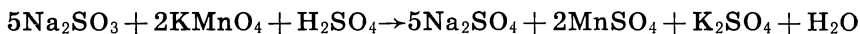
если S^{+4} отдаст два электрона ($2\bar{e}$), а марганец Mn^{+7} примет пять электронов ($5\bar{e}$):



Далее составляем схему электронного баланса, в соответствии с которой окислитель Mn^{+7} примет столько электронов, сколько их отдаст S^{+4} , т. е. сначала для схем (3) и (4) находим наименьшее кратное и затем коэффициенты:



Отсюда подставляем коэффициенты к соединениям Na_2SO_3 , $KMnO_4$, Na_2SO_4 , $MnSO_4$:



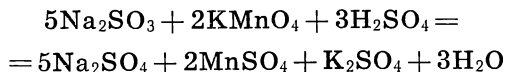
Но мы не нашли еще коэффициенты для молекул других соединений, участвующих в реакции. По числу кислотных остатков в правой части уравнения находим коэффициент для кислоты в левой части уравнения. В результате реакции получается восемь ионов SO_4^{2-} , из них пять за счет окислительно-восстановительного процесса $5SO_3^{2-} \rightarrow 5SO_4^{2-}$ и три за счет реакций обмена:



Таким образом, нужно взять три молекулы серной кислоты:



Наконец, по числу ионов водорода ($6H^+$) в левой части уравнения находим коэффициент для воды ($3H_2O$), и уравнение принимает окончательный вид:



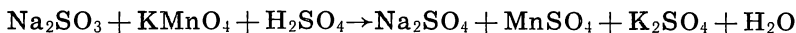
В уравнениях окислительно-восстановительных реакций, протекающих в водных растворах, коэффициенты гораздо удобнее подбирать с помощью *электронно-ионных уравнений*. Они отличаются от электронных уравнений тем, что в них, после того как подсчитан электронный баланс, записывают ионы или молекулы того состава, который действительно отвечает существованию их в водном растворе с точки зрения теории электролитической диссоциации. Кроме того, при составлении электронно-ионных уравнений учитывают характер среды (кислая, нейтральная или щелочная). Как известно, окислительно-восстановительные реакции сильно

зависят от кислотности (основности) среды, в которой они протекают.

Электронно-ионные уравнения показывают переход электронов от одних атомов к другим с учетом характера среды (кислая, щелочная или нейтральная), в которой протекает рассматриваемая реакция. При написании электронно-ионных уравнений для уравнивания числа атомов кислорода и водорода, входящих в состав окисляемых и восстанавливаемых атомов и ионов, вводят (в зависимости от среды) или молекулы воды и ионы водорода (если среда кислая), или молекулы воды и ионы гидроксида (если среда щелочная). Соответственно и в получаемых продуктах в правой части электронно-ионного уравнения будут находиться ионы водорода и молекулы воды (если среда кислая) и ионы гидроксида и молекулы воды (если среда щелочная).

Таким образом, при написании электронно-ионных уравнений нужно исходить из состава ионов, действительно имеющих в растворе. Кроме того, как и при составлении сокращенных ионных уравнений, вещества малодиссоциирующие, плохо растворимые или выделяющиеся в виде газа следует писать в молекулярной форме.

Рассмотрим вновь уравнение реакции окисления сульфита натрия Na_2SO_3 перманганатом калия в кислой среде. Выше мы уже показали, что реакция протекает следующим образом:



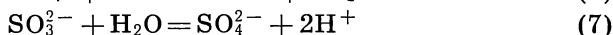
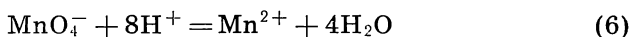
Подбор коэффициентов будем производить, используя *метод электронно-ионного баланса*.

Для проведенной реакции окислитель — ион MnO_4^- восстанавливается до иона Mn^{2+} , а восстановитель — ион SO_3^{2-} окисляется в ион SO_4^{2-} .

Составим уравнения процесса восстановления иона MnO_4^- (окислителя) и процесса окисления иона SO_3^{2-} (восстановителя), учитывая изменение кислородного состава ионов.

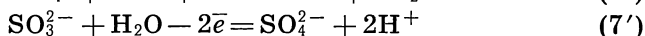
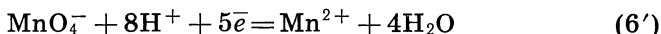
В таких случаях, как мы уже указывали, нужно использовать формальное правило, заключающееся в том, что если кислородсодержащий ион переходит в бескислородный (например, $\text{MnO}_4^- \rightarrow \text{Mn}^{2+}$) или менее кислородсодержащий ион, то избыточные атомы кислорода иона-окислителя связываются в воду ($\text{MnO}_4^- + 8\text{H}^+ \rightarrow \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$). И наоборот, если бескислородный (или менее кислородсодержащий) ион восстановителя переходит в более кислородсодержащий (например, $\text{SO}_3^{2-} \rightarrow \text{SO}_4^{2-}$), то недостающие атомы кислорода берутся из воды.

Таким образом, для вышеприведенной реакции будем иметь два уравнения:

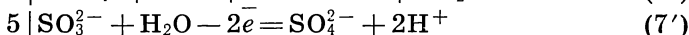
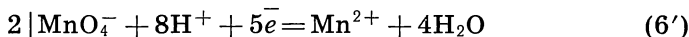


Далее необходимо выполнить закон электронейтральности — суммарное число зарядов продуктов реакции должно быть равно суммарному числу зарядов исходных веществ.

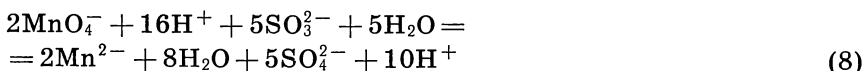
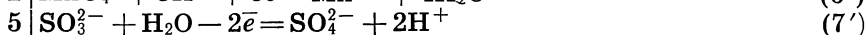
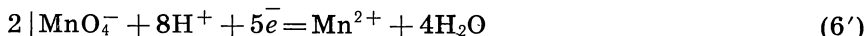
В уравнении (6) сумма зарядов продуктов реакции равна +2 (заряды иона марганца Mn^{2+}). Этому же числу зарядов должна быть равна и сумма зарядов исходных веществ, т. е. слева в уравнении (6) нужно прибавить $5\bar{e}$. Рассуждая аналогично, находим, что в уравнении (7) нужно вычесть $2\bar{e}$:



Теперь нужно учесть, что число электронов, принятых окислителем (ион MnO_4^-), должно быть равно числу электронов, отданных восстановителем. Для этого левую и правую части уравнения (6') умножим на коэффициент 2, а левую и правую части уравнения (7') — на коэффициент 5:



Так как процесс, выраженный уравнением (6''), возможен только в том случае, если имеет место процесс (7''), то после умножения уравнений на соответствующие коэффициенты нужно сложить оба уравнения:

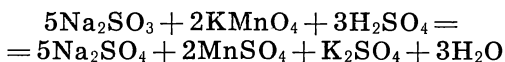


Сокращая одинаковые ионы и молекулы (подобные члены) в левой и правой частях уравнения (8), получаем:



Полученное уравнение (8') называется суммарным ионным уравнением данной окислительно-восстановительной реакции.

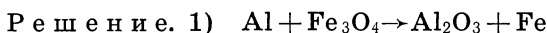
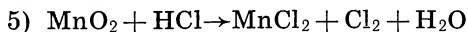
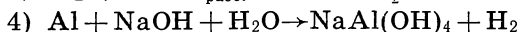
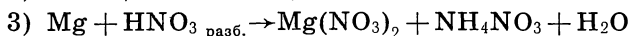
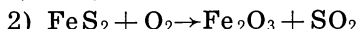
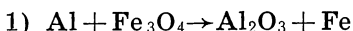
Наконец, исходя из взятых веществ и руководствуясь уравнением (8'), определяем ионы, подвергшиеся (MnO_4^- , SO_3^{2-}) и не подвергшиеся (K^+ , Na^+ , SO_4^{2-}) изменению до и после реакции, и составляем итоговое молекулярное уравнение:



Таким образом, используя электронно-ионные уравнения, мы получили все коэффициенты.

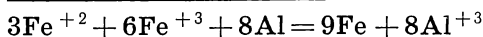
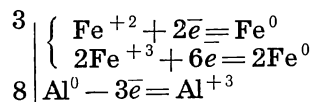
ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ

Задача 1. Подберите коэффициенты в уравнениях следующих окислительно-восстановительных реакций (методом электронного или электронно-ионного баланса):

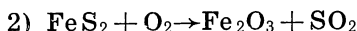
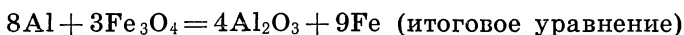


Это реакция алюмотермии. В качестве окислителя выступают атомы железа Fe^{+2} и Fe^{+3} , входящие в состав Fe_3O_4 ($\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$), а атомы алюминия являются сильнейшим восстановителем.

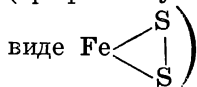
Запишем уравнение электронного баланса:



Используя уравнение электронного баланса, расставим коэффициенты в молекулярном уравнении:

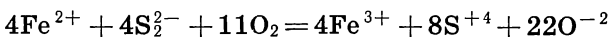
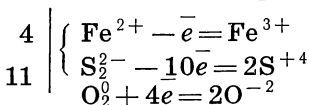


Следует отметить, что дисульфид железа FeS_2 представляет собой соль железа (II) кислоты состава H_2S_2 ; эта кислота по строению подобна пероксиду водорода H_2O_2 . Рассматривают отрицательно двухзарядную группу S_2^{2-} в целом (графическую формулу FeS_2 можно представить в таком

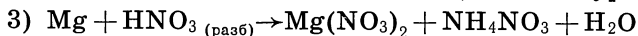
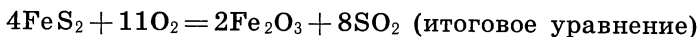


Таким образом, в реакции окисления пирита окислителем является кислород, а в качестве восстановителя выступают ионы железа Fe^{2+} и ионы S_2^{2-} .

Запишем электронное уравнение:

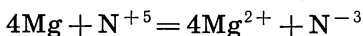
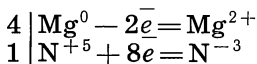


Составим молекулярное уравнение:

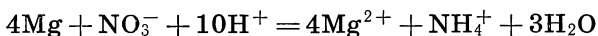
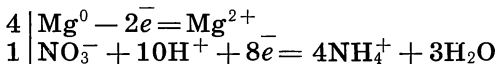


В этой реакции восстановителем являются атомы магния, а окислителем ионы NO_3^-

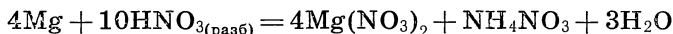
Запишем электронное уравнение:



Электронно-ионное уравнение этой реакции:

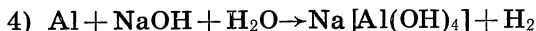


Теперь можно расставить коэффициенты в молекулярном уравнении окислительно-восстановительной реакции 3, используя либо электронное уравнение, либо электронно-ионное, — итог будет один и тот же. Но даже на примере этой простой реакции видны преимущества электронно-ионного метода — здесь мы получаем сразу все коэффициенты:

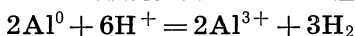
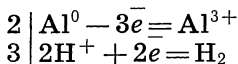


Теперь следует обратить внимание на сокращение «разб» у символа азотной кислоты — дело в том, что азотная кислота обладает окислительными свойствами при *любых концентрациях*, причем чем меньше концентрация HNO_3 , тем больше глубина восстановления азота азотной кислоты. Активность «партнера»-восстановителя также влияет на степень восстановления азота в азотной кислоте.

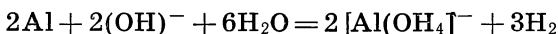
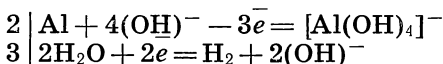
Заметим также, что при взаимодействии с неметаллами (S, C и др.) азотная кислота обычно восстанавливается до оксида азота (II) NO.



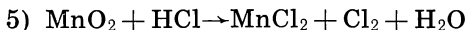
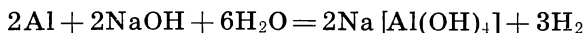
Восстановителем являются атомы алюминия, окислителем — ионы H^+ из воды. Запишем электронное уравнение:



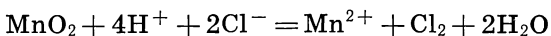
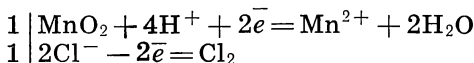
Электронно-ионное уравнение этой реакции:



Итоговое молекулярное уравнение будет:



С помощью этой реакции в школьной лаборатории получают хлор. Составим электронно-ионное уравнение:



Итоговое молекулярное уравнение:



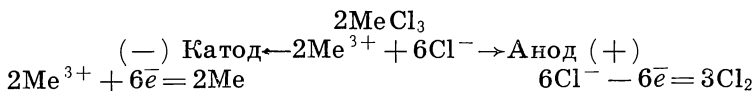
Перед решением и разбором последних задач настоящего параграфа рассмотрите электролиз растворов и расплавов солей различных кислот — кислородсодержащих и бескислородных. Важно вновь повторить законы электролиза Фарадея.

Задача 2. При пропускании постоянного тока силой в 6,4 А в течение 30 мин через расплав соли трехвалентного металла на катоде выделилось 1,07 г металла, а на аноде — около 1,344 л газа, имеющего плотность по гелию 17,75. Определите состав соли, которую подвергли электролизу.

Решение. Согласно условию задачи, относительная молекулярная масса газа, выделившегося при электролизе на аноде, равна:

$$M_r = D_{\text{He}} M_{\text{He}} = 17,75 \cdot 4 = 71$$

Можно предположить, что на аноде выделился газообразный Cl_2 ($M_r = 71$) в результате электролиза солей типа MeCl_3 . Запишем схему электролиза такой соли:



Зная массу выделившегося металла, можно определить его эквивалент, используя закон Фарадея:

$$\mathcal{E} = \frac{96\,500 \, m}{I \cdot t}, \quad (1)$$

здесь I — сила тока (в А); t — время (в с); \mathcal{E} — молярная масса эквивалента элемента.

Из определения эквивалента непосредственно вытекает:

1) число 8 для кислорода и число 1 для водорода являются эквивалентами этих элементов, т. е. $\mathcal{E}_0 = 8$; $\mathcal{E}_{\text{H}} = 1$;

2) эквивалент элемента можно определить по составу его соединения с другим элементом, эквивалент которого известен.

Подставляя данные из условия задачи в уравнение (1), на-

ходим, что эквивалент элемента равен 9, и, зная, что искомый металл трехвалентен, находим его относительную атомную массу:

$$A_r = \mathcal{E} \cdot B = 9 \cdot 3 = 27$$

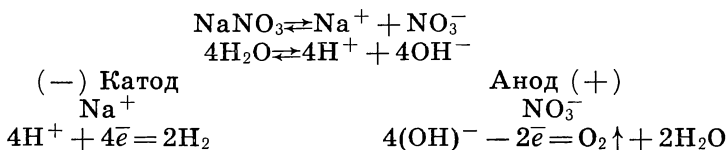
Таким образом, можно предположить, что электролизу подвергли расплав хлорида алюминия AlCl_3 . Чтобы окончательно в этом убедиться, сопоставим число молей простых веществ, выделившихся на электродах: на катоде 1,07 г металла — предположительно это алюминий, т. е. $(1,07 : 27) 0,04$ моль; на аноде 1,344 л газа, по-видимому, как мы установили, хлора Cl_2 , т. е. $\frac{1,344}{22,4}$ моль Cl_2 . В пересчете на атомарный хлор это составит:

$$\frac{1,344 \cdot 2}{22,4} = 0,12 \text{ (моль)}$$

Таким образом, на 0,04 моль атомов алюминия приходится 0,12 моль атомов хлора, следовательно, электролизу действительно подвергался расплав соли AlCl_3 .

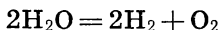
Задача 3. При электролизе 1000 г 5%-ного раствора NaNO_3 на аноде выделилось 80 л кислорода, измеренного при температуре 25°C и давлении $1,24 \cdot 10^5$ Па. Рассчитайте массовую долю (%) нитрата натрия в растворе после проведения электролиза.

Решение. Запишем схему электролиза водного раствора:



При электролизе водного раствора NaNO_3 происходит электролитическое разложение воды, масса самой соли в растворе не изменяется, но уменьшается масса растворителя — воды, ионы которой разряжаются, и, естественно, должна увеличиваться концентрация соли. Решение задачи сводится к определению количества вещества разложившейся воды и к пересчету концентрации раствора.

Из приведенной выше схемы электролиза следует уравнение электролитического разложения воды:



Теперь мы должны рассчитать, сколько молей O_2 соответствует объему кислорода 80 л, измеренному при данных в задаче условиях:

$$\nu = \frac{pV}{RT} = \frac{1,24 \cdot 10^5 \text{ Па} \cdot 80 \text{ л}}{8,314 \cdot 10^3 \text{ л} \cdot \text{Па} / (\text{моль} \cdot \text{К}) \cdot 298 \text{ К}} = 4 \text{ моль}$$

Следовательно, электролитическому разложению подвергли 8 моль H_2O , т. е. $(8 \cdot 18)$ 144 г H_2O .

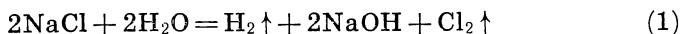
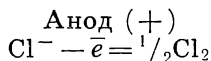
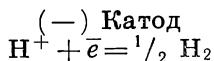
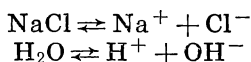
По определению массовой доли компонента в растворе находим, что исходный раствор содержит 50 г NaNO_3 . После электролиза массовая доля (%) NaNO_3 составит:

$$\omega\%(\text{NaNO}_3) = \frac{50 \text{ г}}{(1000 - 144) \text{ г}} \cdot 100\% = 5,8\%$$

О т в е т: массовая доля (%) NaNO_3 равна 5,8%.

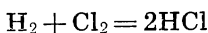
Задача 4. На заводе был подвергнут электролизу раствор, содержащий 468 кг хлорида натрия. Полученные газы были использованы для синтеза хлороводорода. Образовавшийся хлороводород растворили в 708 л воды. Рассчитайте массовую долю (%) хлороводорода в полученной соляной кислоте.

Р е ш е н и е. Электролиз раствора NaCl протекает по следующей схеме:



Из уравнения реакции (1) ясно, что из 468 кг NaCl $\left(\frac{468 \text{ кг}}{58,5 \text{ кг/кмоль}} = 8 \text{ кмоль}\right)$ образуется соответственно по 4 кмоль H_2 и Cl_2 .

Следовательно, в соответствии с уравнением:



было получено 8 кмоль HCl , т. е. $(8 \cdot 36,5)$ 292 кг HCl .

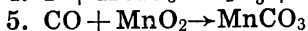
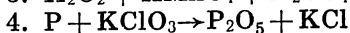
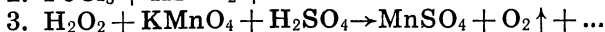
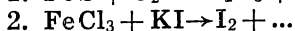
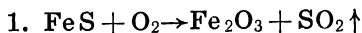
Таким образом, концентрация полученной соляной кислоты составит:

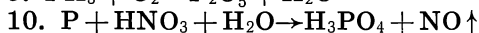
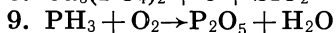
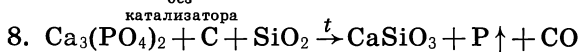
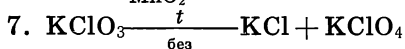
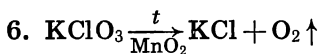
$$\omega\%(\text{HCl}) = \frac{292 \text{ кг}}{(292 + 708) \text{ кг}} \cdot 100 = 29,2\%$$

О т в е т: получен 29,2%-ный раствор соляной кислоты.

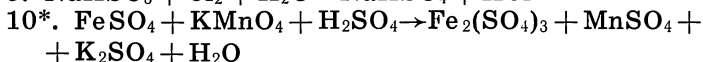
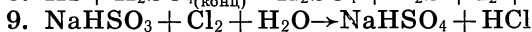
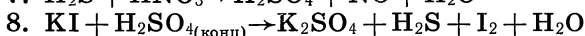
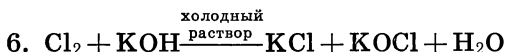
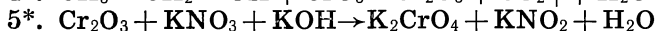
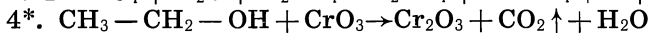
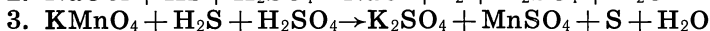
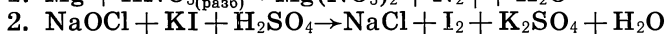
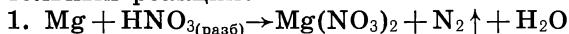
ЗАДАЧИ

81. Используя метод электронного баланса, составьте уравнения следующих окислительно-восстановительных реакций:

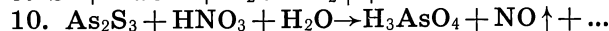
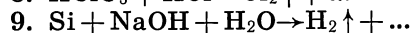
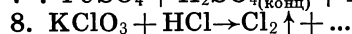
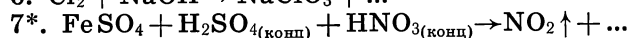
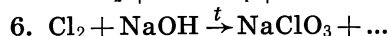
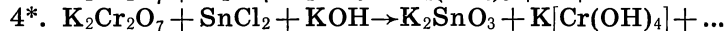
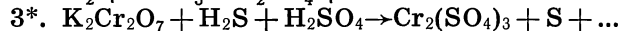
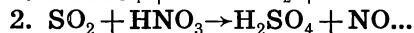
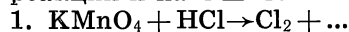




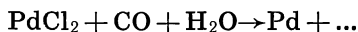
82. Используя метод электронно-ионного баланса, составьте полные уравнения следующих окислительно-восстановительных реакций:



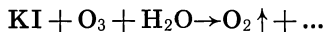
83. Используя метод электронно-ионного баланса, запишите окончания следующих окислительно-восстановительных реакций и напишите их полные молекулярные уравнения:



84. Для обнаружения оксида углерода (II) используют его способность восстанавливать металлы. Запишите окончание уравнения окислительно-восстановительной реакции:



85. Для качественного обнаружения озона газ очень часто пропускают через водный раствор иодида калия:



Запишите окончание этого уравнения реакции.

86. Как изменяются восстановительные свойства серы в ряду: H_2S , S , H_2SO_3 , H_2SO_4 ? Назовите самый сильный окисли-

- тель из указанных выше веществ, самый сильный восстановитель из них и дайте обоснование.
- 87*. Как изменяются восстановительные свойства хлора в ряду: HCl , Cl_2 , HClO , HClO_2 , HClO_3 , HClO_4 ? Назовите самый сильный окислитель из указанных выше веществ, самый сильный восстановитель и дайте обоснование.
88. Перечислите металлы, которые могут быть использованы для вытеснения серебра из водного раствора AgNO_3 .
- 89*. Пользуясь данными таблицы 1 (см. приложение), покажите, какие из следующих веществ (или ионов) способны окислять бромид ионы Br^- : Cl_2 , H^+ , Fe^{2+} , MnO_4^- .
90. Какой объем озонированного кислорода, содержащего 5% озона (по объему), необходим для сжигания 3 л водорода?
91. Какой объем занимает кислород, выделившийся из одного моля каждого из веществ: KClO_3 , KMnO_4 , KNO_3 , HgO ?
92. Как получают хлорную известь? Почему она находит применение в качестве дезинфицирующего средства? Напишите графическую формулу хлорной извести.
93. При растворении хлора и брома в воде получается хлорная вода и бромная вода. А почему нельзя приготовить фторную воду?
94. Через раствор иодида калия в течение продолжительного времени пропускали струю хлора, а затем испытали раствор на присутствие свободного иода крахмалом, однако посинения не обнаружилось. Чем это можно объяснить?
95. Как изменится масса пятиграммовой железной пластинки при выдерживании ее в растворе, содержащем 1,6 г сульфата меди?
96. Цинковая пластинка массой 10,00 г опущена в раствор сульфата меди. После окончания реакции промытая и высушенная пластинка имеет массу 9,90 г. Объясните изменение массы пластинки и определите массу сульфата меди, находящегося в растворе ($M(\text{Cu}) = 63,54$ г/моль, $M(\text{Zn}) = 65,38$ г/моль).
- 97*. Предположим, что необходимо посеребрить медную пластинку. Будет ли она катодом или анодом в гальваническом элементе? Дайте обоснованный ответ с помощью метода полуреакций.
98. При электролизе раствора хлорида кальция на катоде выделилось 5,6 г водорода. Какой газ и какой массой выделился на аноде?
99. Ток силой 2,234 А пропусклся в течение 12 ч через последовательно соединенные электролизеры, заполненные растворами нитрата серебра и сульфата меди. Какие вещества выделяются на электродах и каковы их массы?
100. Через раствор хлорида магния в течение 1 ч пропускали постоянный электрический ток силой 2,5 А. Ка-

кие вещества и какой массой каждое образовались при этом, если электроды изготовлены из платины?

101. Водный раствор едкого натра подвергали электролизу током 10 А в течение 268 ч. После окончания электролиза осталось 100 г 24%-ного раствора гидроксида натрия. Найдите первоначальную концентрацию раствора в массовых долях (ω %).
102. Чтобы посеребрить медную пластину массой 10 г, ее опустили в стакан, содержащий 20%-ный раствор нитрата серебра массой 250 г. Когда пластину вынули, оказалось, что масса нитрата серебра в растворе уменьшилась на 20%. Определите, какова стала масса посеребренной пластины и какова концентрация оставшегося раствора нитрата серебра в массовых долях (ω %).
- 103*. После погружения железной пластины массой 8 г в 15%-ный раствор нитрата свинца ($\rho = 1,32 \text{ г/см}^3$) объемом 50 мл масса нитрата свинца в растворе уменьшилась втрое. Какой стала масса пластины?
- 104*. При электролизе 9,17%-ного раствора KNO_3 массой 872 г на аноде выделилось 61 л кислорода ($t = 21^\circ\text{C}$, $p = 80,11 \text{ кПа}$). Вычислите массовую долю (%) нитрата калия после проведения электролиза.
- 105*. При электролизе 497 г водного раствора хлорида калия на аноде выделилось 25 л газа ($p = 1,01 \cdot 10^5 \text{ Па}$, $t = 32^\circ\text{C}$). Выделившийся газ был полностью поглощен избытком горячего раствора гидроксида калия. Какие соли и каким количеством вещества образовались в результате поглощения? Рассчитайте массовую долю (%) хлорида калия в исходном растворе, если после окончания раствор уже не содержал этой соли.
106. Электролиз 200 мл 6%-ного раствора медного купороса ($\rho = 1,02 \text{ г/см}^3$) продолжали до тех пор, пока масса раствора не уменьшилась на 5 г. Определите массовые доли соединений в оставшемся растворе и массы продуктов, выделившихся на инертных электродах электролизера.
- 107*. При электролизе раствора нитрата хрома (III) выделилось 20,8 г хрома. Что и в каком объеме выделилось на аноде? Выделившийся хром растворили в соляной кислоте, после чего раствор оставили на воздухе, а затем к нему постепенно прилили раствор щелочи. Выпавший вначале осадок при этом полностью растворился. Напишите уравнения реакций и вычислите, какой объем (в мл) 40%-ного раствора гидроксида натрия ($\rho = 1,4 \text{ г/см}^3$) потребуется для полного растворения осадка.

§ 5. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОТЕКАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ (СКОРОСТЬ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ, ХИМИЧЕСКОЕ РАВНОВЕСИЕ, ТЕПЛОВЫЕ ЭФФЕКТЫ РЕАКЦИЙ)

Сформулируйте закон действующих масс и напишите его математическое выражение. Определите физический смысл константы скорости. Рассмотрите принципы смещения равновесия (влияние изменения концентрации, температуры и давления), вспомните математическое выражение закона действующих масс для химических равновесий.

Необходимо четко понимать, что катализатор не смещает химическое равновесие, так как он в одинаковой степени ускоряет как прямую, так и обратную реакции. Что такое ферменты? Каковы различия между гомогенным и гетерогенным катализом?

Следует особенно подчеркнуть важность знаний закономерностей протекания химических реакций для управления химико-технологическими процессами на производстве.

Обратите особое внимание на термохимический закон Гесса, на котором основано большинство термохимических расчетов.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ

Задача 1. Как изменится скорость реакции $A_2 + 2B \rightarrow 2AB$, протекающей непосредственно между молекулами в закрытом сосуде, если увеличить давление в 6 раз?

Решение. По закону действующих масс скорость гомогенной химической реакции пропорциональна произведению молярных концентраций реагирующих веществ, возведенных в степени их стехиометрических коэффициентов. Увеличивать концентрации реагирующих веществ можно за счет повышения давления в сосуде.

Обозначим начальные концентрации молекул A_2 и B через a и b соответственно:

$$[A_2] = a, [B] = b$$

Следовательно, скорость реакции равна:

$$v_1 = k[A_2][B]^2 = k \cdot a \cdot b^2$$

При увеличении давления в 6 раз концентрация каждого из веществ также увеличивается в 6 раз. В этом случае:

$$v_2 = k(6a)(6b)^2 = 216k \cdot a \cdot b^2$$

Отсюда следует, что скорость реакции должна возрасти в 216 раз.

Ответ: скорость реакции увеличится в 216 раз.

Задача 2. Во сколько раз увеличится скорость реакции при повышении температуры от 40 до 200 °С, если принять, что температурный коэффициент скорости равен 2.

Р е ш е н и е. Зависимость скорости реакции от температуры часто выражается следующим эмпирическим правилом: *при повышении температуры на каждые 10°С скорость химической реакции увеличивается в 2—4 раза* (правило Вант-Гоффа):

$$v_{t_2} = v_{t_1} \cdot \gamma^{\frac{t_2 - t_1}{10}},$$

где v_{t_1} — скорость реакции при начальной температуре; v_{t_2} — скорость реакции при повышенной температуре; γ — температурный коэффициент скорости, показывающий, во сколько раз увеличивается скорость реакции при повышении температуры на 10 °С.

Множитель $\gamma^{\frac{t_2 - t_1}{10}}$ показывает, во сколько раз увеличивается скорость реакции при повышении температуры на данную величину.

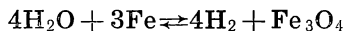
Так как температура повышается на 160 °С, то, для того чтобы определить, во сколько раз увеличится скорость реакции, надо температурный коэффициент скорости возвести в степень (160:10) 16. Скорость реакции увеличится в $2^{16} = 65\,536$ раз.

О т в е т: скорость реакции увеличится в 65 536 раз.

Задача 3. Рассчитайте константу равновесия при некоторой заданной температуре для обратимой реакции $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO}_2 + \text{H}_2$, учитывая, что в состоянии равновесия концентрации участвующих в реакции веществ были равны: $[\text{CO}] = 0,16$ моль/л; $[\text{H}_2\text{O}] = 0,32$ моль/л; $[\text{CO}_2] = 0,32$ моль/л; $[\text{H}_2] = 0,32$ моль/л.

Обратимыми называются реакции, при которых получающиеся вещества способны взаимодействовать друг с другом, образуя исходные вещества. Например, при одних и тех же условиях может одновременно происходить соединение азота с кислородом и разложение образующегося оксида азота на азот и кислород.

Реакцию между исходными веществами называют прямой, а реакцию между образующимися веществами — обратной. Обратная реакция может протекать только в том случае, если образующиеся вещества остаются в контакте друг с другом. Если хотя бы одно из образующихся веществ удаляется из сферы реакции, обратная реакция становится невозможной. Например, реакция между водяным паром и железом:



обратима. Однако обратная реакция — взаимодействие водорода с оксидом железа Fe_3O_4 — не будет происходить, если водород будет удаляться из сферы реакции. Для того чтобы обратная реакция протекала, необходимо задержать водород в реакционном аппарате. А это возможно в том случае,

если реакция осуществляется в закрытом аппарате (сосуде), или, как говорят, в замкнутом пространстве.

По мере протекания реакции при неизменном объеме концентрации исходных веществ убывают, а концентрации образующихся веществ нарастают. При обратимой реакции это влечет за собой постепенное убывание скорости прямой реакции и нарастание скорости обратной реакции. В конце концов должен наступить такой момент, когда скорости обеих реакций будут равны. В этот момент прекратится изменение концентраций участвующих в реакции веществ и наступит химическое равновесие.

Итак, для системы:



в состоянии химического равновесия: 1) скорости прямой и обратной реакции равны; 2) концентрации участвующих в реакции веществ не изменяются. Эти концентрации называются равновесными. Отношение равновесных концентраций участвующих в реакции веществ выражается формулой:

$$K = \frac{[C]^p [D]^q}{[A]^n [B]^m},$$

где $[A]$ и $[B]$ — концентрации исходных веществ; $[C]$ и $[D]$ — концентрации образующихся веществ; p , q , n , m — стехиометрические коэффициенты; K — постоянная величина, называемая константой химического равновесия и равная отношению констант скоростей прямой и обратной реакций:

$$K = \frac{k_1}{k_2}$$

Поскольку скорость и константа скорости химической реакции изменяются в зависимости от температуры, то и константа равновесия зависит от этого параметра и является постоянной величиной только при постоянной температуре.

Химическое равновесие сохраняется до тех пор, пока остаются неизменными условия, в которых находится система. Изменение условий вызывает нарушение равновесия (сдвиг равновесия).

Решение. Подставим из условия задачи численные значения в формулу химического равновесия, получим выражение:

$$K = \frac{[CO_2] [H_2]}{[CO] [H_2O]} = \frac{0,32 \text{ моль/л} \cdot 0,32 \text{ моль/л}}{0,16 \text{ моль/л} \cdot 0,32 \text{ моль/л}} = 2$$

Ответ: константа равновесия K равна 2.

Задача 4. а) Рассчитайте теплоту образования ацетилена, если при сгорании 1 моль его выделяется 1300 кДж теплоты; б) При сгорании 2 моль этилена в кислороде выделилось 2822

кДж теплоты. Определите теплоту образования этилена, если стандартные теплоты образования CO_2 и H_2O равны 393 кДж/моль и 286 кДж/моль.

Перед решением термохимических задач необходимо повторить материал по химической энергетике.

Напомним, что по признаку выделения или поглощения теплоты реакции подразделяются на экзотермические и эндотермические. Количество выделенной или поглощенной теплоты называют тепловым эффектом химической реакции.

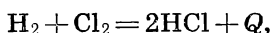
Термохимические данные обычно выражают с помощью уравнения химической реакции, для которого приводят значения ΔH — разности теплосодержаний энтальпий конечных продуктов реакции и исходных веществ.

Энтальпия ΔH — это определенное свойство вещества, оно является мерой энергии, накапливаемой веществом при его образовании.

Процессы, протекающие при постоянном давлении, встречаются в химии гораздо чаще, чем те, которые протекают при постоянном объеме, так как большинство из них проводится в открытых сосудах. Доказано, что в химических процессах, протекающих при постоянном давлении, выделившееся (или поглощенное) тепло есть мера уменьшения (или увеличения соответственно) энтальпии реакции, ΔH .

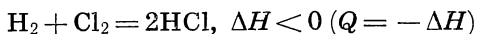
Таким образом, при экзотермических реакциях, когда тепло выделяется, значения ΔH для них отрицательны. При эндотермических реакциях (тепло поглощается) значения ΔH положительны.

Заметим, что на первых этапах изучения химии вы часто пользовались равным по абсолютной величине и противоположным по знаку обозначением, например:



где Q — количество выделенной теплоты.

Если использовать энтальпию (характеристику энергосодержания системы), то это уравнение следует записать иначе:



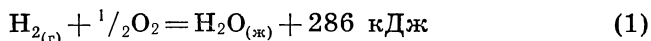
В справочных таблицах обычно приводят не значения величины Q , а значения величины ΔH , измеренные при определенных условиях (чаще всего при 25°C (298 К); их обозначают ΔH^0 .

В задаче требуется определить теплоты образования ацетилен и этилена. Напомним, что *теплотой (энергией) образования соединения называется количество теплоты, которое выделяется или поглощается при образовании одного моля химического соединения из простых веществ при стандартных условиях* ($p = 1 \cdot 10^5$ Па; $t = 25^\circ\text{C}$, или 298 К). Она измеряется в килоджоулях на моль.

Изменение энтальпии ΔH зависит от давления и температуры. Поэтому, для того чтобы облегчить сравнение термохимических данных для различных реакций, были приняты определенные стандартные состояния (условия).

Вспомните, например, об энергии *плавления* льда, теплоемкости и энергии *парообразования* воды, тогда вам станет понятно, что теплота образования 1 моля *паров* воды из простых веществ будет отличаться, и довольно заметно, от теплоты образования 1 моля той же воды, но при 25 °С, или льда при 0 °С.

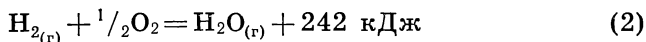
При написании термохимических уравнений твердое вещество, жидкость и газ обязательно обозначаются символами (тв), (ж), (г) соответственно, поскольку изменение энтальпии зависит от агрегатного состояния реагирующих веществ и продуктов реакции. *Стандартное состояние: для газа — это состояние чистого газа при $1 \cdot 10^5$ Па; для жидкости — это состояние чистой жидкости при $1 \cdot 10^5$ Па; для твердого вещества — характерное кристаллическое состояние при $1 \cdot 10^5$ Па, например, графит у углерода, ромбическая сера у серы и т. п. Стандартное состояние всегда относится к 25 °С.* Так, например, термохимическое уравнение образования воды из водорода и кислорода записывается следующим образом:



Значение 286 кДж является теплотой образования воды в стандартных условиях и означает, что при образовании 1 моля воды выделяется 286 кДж теплоты:

$$\Delta H_{\text{обр}}(\text{H}_2\text{O}_{\text{ж}}) = -286 \text{ кДж/моль.}$$

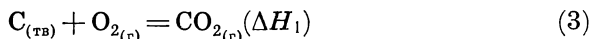
Отметим здесь в связи с этим, что значение теплоты образования воды газообразной (в парообразном состоянии) уже будет иным:



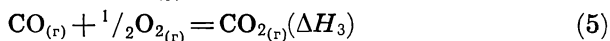
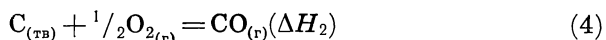
Важнейшим законом, на котором основано большинство термохимических расчетов, является **закон Гесса** (его называют еще законом суммы тепловых эффектов):

Тепловой эффект химической реакции зависит от состояния исходных веществ и конечных продуктов, но не зависит от промежуточных стадий реакции.

Так, например, тепловой эффект реакции окисления углерода в оксид углерода (IV) не зависит от того, проводится ли это окисление непосредственно:



или через промежуточную стадию образования оксида углерода (II):



Из закона Гесса следует, что если известны общий тепловой эффект реакции и тепловой эффект одной из двух ее промежуточных стадий, то можно вычислить тепловой эффект (x) второй промежуточной реакции, т. е., если $\Delta H_1 = \Delta H_2 + \Delta H_3(\Delta H_2 = x)$, то $x = \Delta H_1 - \Delta H_3$.

Это положение очень важно, так как в таких случаях можно рассчитывать тепловые эффекты для реакций, не поддающихся непосредственному экспериментальному изучению.

Например, практически невозможно измерить теплоту сгорания углерода до оксида углерода (II) в ограниченном количестве кислорода, потому что продукт реакции всегда будет состоять из смеси оксида углерода (II) и оксида углерода (IV) (см. уравнение реакций (4) и (5)). Однако теплоту полного сгорания углерода до оксида углерода (IV) в избытке кислорода измерить можно (см. уравнение реакции (3), при этом получим: $\Delta H_1 = -393$ кДж/моль. Можно измерить опытным путем и теплоту сгорания оксида углерода (II) до оксида углерода (IV) (5): $\Delta H_3 = -283$ кДж/моль. Имея эти данные, по закону Гесса легко рассчитать теплоту сгорания углерода до оксида углерода (II):

$$\begin{aligned} \Delta H_2 = \Delta H_1 - \Delta H_3 &= -393 \text{ кДж/моль} + 283 \text{ кДж/моль} = \\ &= -110 \text{ кДж/моль} \end{aligned}$$

Заметим, что переход от соединения двухвалентного углерода к соединению четырехвалентного углерода (реакция (5)) энергетически более выгоден, чем реакция (4): $\Delta H_3 > \Delta H_2$. Это согласуется с хорошо известным фактом, что большинство соединений углерода соответствует не основному электронному состоянию $1s^2 2s^2 2p^2$, а возбужденному состоянию $1s^2 2s^1 2p^3$, так как энергия возбуждения электрона при переходе $2s^2 2p^2 \rightarrow 2s^1 2p^3$ компенсируется за счет энергии образования дополнительных связей.

Если теплота образования какого-либо вещества из простых веществ не измерена экспериментально, то для расчета можно воспользоваться значениями ΔH ряда других соединений; комбинируя эти значения, можно получить $\Delta H_{обр}$ искомого соединения, так как мы это сделали выше при вычислении $\Delta H_{обр}$ оксида углерода (II).

Энтальпии образования многих соединений известны с большой точностью. Значения стандартных энтальпий образования некоторых веществ при стандартных условиях приведены в таблице 2 приложения. Пользуясь данными этой таблицы, можно на основании закона Гесса рассчитать тепловые эффекты для многих реакций.

Особенно удобно проводить такие расчеты, пользуясь следующим общим положением, непосредственно вытекающим из закона Гесса:

Тепловой эффект химической реакции равен разности суммы теплот образования продуктов реакции и суммы теплот образования исходных веществ (суммирование проводится с учетом числа молей веществ, участвующих в реакции, т. е. стехиометрических коэффициентов в уравнении протекающей реакции):

$$Q = \sum_i \nu_i Q_i - \sum_j \nu_j Q_j$$

Здесь Q_i и Q_j — теплоты образования продуктов реакции и исходных веществ соответственно; ν_i и ν_j — стехиометрические коэффициенты в правой и левой частях термохимического уравнения соответственно.

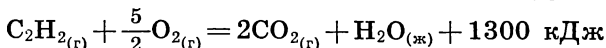
Аналогичным образом можно записать:

$$\Delta H = \sum_i \nu_i \Delta H_i - \sum_j \nu_j \Delta H_j,$$

где ΔH — изменение энтальпии соответствующей реакции, ΔH_i и ΔH_j — энтальпии образования продуктов реакции и исходных веществ соответственно.

Решение.

а) Из условия задачи следует, что изменение энтальпии в реакции сгорания ацетилена ΔH^0 равно 1300 кДж/моль. Рассчитываем теплоту образования ацетилена по уравнению:



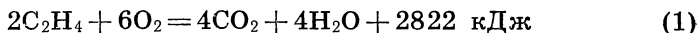
Отсюда можно записать:

$$\begin{aligned} \Delta H^0 = -1300 \text{ кДж} &= 2\Delta H_{\text{обр}}^0(\text{CO}_2) + \Delta H_{\text{обр}}^0(\text{H}_2\text{O}) - \\ &- \Delta H_{\text{обр}}^0(\text{C}_2\text{H}_2) - \frac{5}{2} \Delta H_{\text{обр}}^0(\text{O}_2) \end{aligned}$$

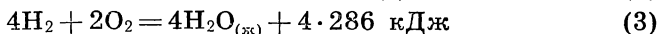
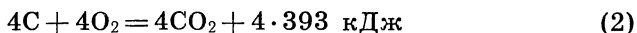
Пользуясь данными таблицы 2 приложения, находим: $\Delta H_{\text{обр}}^0(\text{C}_2\text{H}_2) = 228 \text{ кДж/моль}$.

О т в е т: теплота образования C_2H_2 равна -228 кДж/моль .

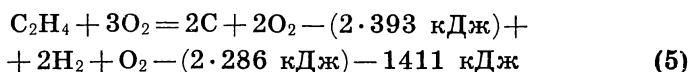
б) Запишем термохимическое уравнение сгорания 2 молей этилена:



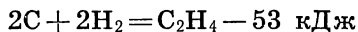
Термохимические уравнения реакций образования оксида углерода (IV) и воды в отдельности можно записать в следующем виде:



Преобразуя уравнения (1), (2), (3), получим следующее:



Отсюда определим теплоту образования этилена:



(Термохимическими уравнениями можно оперировать как обычными алгебраическими уравнениями, перенося их члены из одной половины уравнения в другую.)

Другое, более простое решение можно получить, используя следствие из закона Гесса (см. выше), когда сразу можно записать:

$$Q = 2822 \text{ кДж} = 4Q(\text{CO}_2) + 4Q(\text{H}_2\text{O}) + 2Q(\text{C}_2\text{H}_4)$$

Отсюда следует:

$$Q(\text{C}_2\text{H}_4) = \frac{4Q(\text{CO}_2) + 4Q(\text{H}_2\text{O}) - 2822}{2} = -53 \text{ кДж/моль}$$

О т в е т: теплота образования этилена — 53 кДж/моль.

ЗАДАЧИ

108. Как формулируется основное положение химической кинетики? Каков физический смысл константы скорости химической реакции?
109. Как изменится скорость образования оксида азота (IV) в соответствии с реакцией: $2\text{NO} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}_2$, если давление в системе увеличить в 3 раза, а температура при этом останется неизменной?
110. Во сколько раз увеличится скорость химической реакции $\text{H}_2 + \text{I}_2 \rightarrow 2\text{HI}$ при повышении температуры от 20 до 170 °С, если было установлено, что при повышении температуры на каждые 25 °С скорость реакции увеличивается в 3 раза?
111. Во сколько раз увеличится скорость реакции $\text{H}_2 + \text{Br}_2 \rightarrow 2\text{HBr}$ при повышении температуры от 25 до 200 °С, если при повышении температуры на каждые 25 °С скорость реакции увеличивается в 4 раза?
112. Как будет влиять увеличение температуры на состояние равновесия в следующих реакциях: а) $\text{H}_2 + \text{Cl}_2 \rightleftharpoons 2\text{HCl} + Q$; б) $\text{H}_2 + \text{I}_2 \rightleftharpoons 2\text{HI} - Q$?
113. Как будет влиять увеличение давления на состояние равновесия в следующих реакциях: а) $\text{H}_2 + \text{Br}_2 \rightleftharpoons 2\text{HBr}$; б) $2\text{NO} + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{NO}_2$; в) $\text{N}_2\text{O}_4 \rightleftharpoons 2\text{NO}_2$?
- 114*. Известно, что теплота превращения графита в алмаз невелика: $\text{C}_{\text{графит}} \rightleftharpoons \text{C}_{\text{алмаз}} - 1,9 \text{ кДж}$. Казалось бы, в таком случае при нагревании легко осуществить синтез искусственных алмазов. Однако на практике для смещения равновесия приходится проводить процесс при очень высоких давлениях. Дайте обоснование этим фактам, учитывая, что плотность алмаза (3,51 г/см³) существенно больше плотности графита (2,25 г/см³).

115. Рассчитайте равновесные концентрации веществ, участвующих в реакции $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO}_2 + \text{H}_2$, если исходные концентрации веществ равны: $[\text{CO}] = 0,1$ моль/л, $[\text{H}_2\text{O}] = 0,4$ моль/л, а константа равновесия при данной температуре равна 1.
116. При сгорании 2 молей фосфористого водорода (фосфина) PH_3 образуется оксид фосфора (V) P_2O_5 , вода и выделяется 2440 кДж теплоты. Определите теплоту образования фосфина, если при образовании оксида фосфора (V) и воды выделяется соответственно 1548 кДж/моль и 286 кДж/моль теплоты.
- 117*. Как известно, высокотемпературное пламя ацетилено-кислородных горелок широко используется в промышленности для сварки и резки металла. Можно ли для аналогичных целей использовать пламя метано-кислородной горелки? Рассчитайте, в какой из двух указанных типов горелок и во сколько раз выделится больше теплоты при сгорании одинаковых объемов ацетилена и метана. Теплоты образования CH_4 , C_2H_2 , CO_2 и H_2O равны +75, -230, +393, +286 кДж/моль соответственно.
- 118*. Тонкоизмельченную смесь алюминия и железной окалины (Fe_3O_4), часто называемую термитом, применяют для сварки различных металлических изделий, поскольку при поджигании термита выделяется большое количество теплоты и развивается высокая температура. Рассчитайте массу термитной смеси, которую необходимо взять для того, чтобы выделилось 665,26 кДж теплоты в процессе алюмотермии (давление $1 \cdot 10^5$ Па), если теплоты образования Fe_3O_4 и Al_2O_3 равны соответственно 1117 кДж/моль и 1670 кДж/моль.
- 119*. Смесь А, образовавшуюся после реакции алюминия с железной окалиной, обработали раствором щелочи, при этом выделилось 1,344 л газа. Если такое же количество этой смеси А обработать избытком соляной кислоты, то выделяется 5,376 л газа (н. у.). Определите состав исходной смеси в молях и в процентах по массе. Какое количество теплоты выделилось при реакции, если теплоты образования железной окалины и оксида алюминия соответственно равны 1117 кДж/моль и 1670 кДж/моль?
120. Как можно обосновать оптимальные условия промышленного синтеза аммиака с высоким выходом на основе термохимического уравнения реакции:



и с учетом того, что при низких температурах скорость прямой реакции очень мала?

Глава II НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Как уже отмечалось в предисловии, общие приемы решения задач были продемонстрированы в первом разделе книги. В этой связи в последующих двух разделах, посвященных фактическому материалу неорганической и органической химии, будет представлено лишь небольшое число примеров решения задач, поэтому мы рекомендуем учащимся, прежде чем самостоятельно решать задачи глав II и III, обязательно повторить приемы решения, рассмотренные в главе I.

§ 1. НОМЕНКЛАТУРА, КЛАССИФИКАЦИЯ, СВОЙСТВА И СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ, ОТНОСЯЩИХСЯ К КЛАССАМ ОКСИДОВ, КИСЛОТ, ОСНОВАНИЙ И СОЛЕЙ

Обратите особое внимание на современную международную номенклатуру оксидов, кислот, солей и оснований. Нужно помнить, что, кроме средних и кислых солей, важное значение играют основные, двойные, смешанные, комплексные и другие соли. Рассмотрите случаи гидролиза солей, образованных сильной кислотой и слабым основанием, слабой кислотой и сильным основанием, слабой кислотой и слабым основанием. Как протекает гидролиз солей многоосновных кислот? Как количественно может быть охарактеризован гидролиз соли?

Чтобы успешно решать задачи настоящего раздела, необходимо твердо знать номенклатуру неорганических соединений. Ниже мы приводим таблицу названий наиболее часто встречающихся кислот и кислотных остатков, которая будет полезна в дальнейшем.

ЗАДАЧИ

121. Напишите формулы следующих химических соединений: сульфид железа (II), сульфит натрия, дигидрофосфат кальция, перманганат калия, гипохлорит кальция, хлорат натрия, гидроксохлорид магния.

**Названия неорганических кислот
и их кислотных остатков**

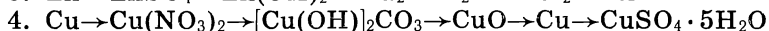
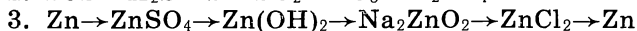
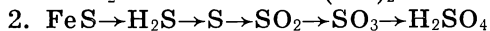
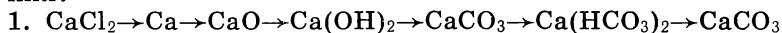
Название кислоты	Формула кислоты	Формула кислотного остатка	Название кислотного остатка по международной номенклатуре (ИЮПАК)
Азотистая	HNO_2	NO_2^-	Нитрит
Азотная	HNO_3	NO_3^-	Нитрат
Бромоводородная	HBr	Br^-	Бромид
Иодоводородная	HI	I^-	Иодид
Кремниевая	H_2SiO_3	SiO_3^{2-}	Силикат
Марганцовая	HMnO_4	MnO_4^-	Перманганат
Марганцовистая	H_2MnO_4	MnO_4^{2-}	Манганат
Серная	H_2SO_4	SO_4^{2-}	Сульфат
		HSO_4^-	Гидросульфат
Сернистая	H_2SO_3	SO_3^{2-}	Сульфит
		HSO_3^-	Гидросульфит (бисульфит)
Сероводородная	H_2S	S^{2-}	Сульфид
		HS^-	Гидросульфид
Соляная	HCl	Cl^-	Хлорид
Угольная	H_2CO_3	CO_3^{2-}	Карбонат
		HCO_3^-	Гидрокарбонат (бикарбонат)
Уксусная	CH_3COOH	CH_3COO^-	Ацетат
Фосфорная	H_3PO_4	PO_4^{3-}	Фосфат
		HPO_4^{2-}	Гидрофосфат
		H_2PO_4^-	Дигидрофосфат
Фтороводородная	HF	F^-	Фторид
Хлорноватистая	HClO	ClO^-	Гипохлорит
Хлористая	HClO_2	ClO_2^-	Хлорит
Хлорноватая	HClO_3	ClO_3^-	Хлорат
Хлорная	HClO_4	ClO_4^-	Перхлорат
Хромовая	H_2CrO_4	CrO_4^{2-}	Хромат
Дихромовая	$\text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$	Дихромат

- 122.** Напишите формулы следующих химических соединений: карбонат кальция, дигидрофосфат магния, сульфит натрия, нитрат железа (III), хлорат калия, гидроксокарбонат меди, гидросульфат меди, дихромат калия, нитрат бария, хлорид железа (II).
- 123.** В результате химического анализа установлен количественный состав следующих соединений: $\text{H}_{14}\text{ZnSO}_{11}$; $\text{H}_4\text{N}_2\text{O}_3$; HClMgO ; CaCl_2O . К каким классам относятся эти вещества? Назовите их. Приведите по одной реакции, характеризующей каждое вещество.
- 124*.** Водные растворы каких из нижеперечисленных веществ будут вызывать изменения окраски индикатора: хлорид натрия, цианид натрия, нитрат бария, фосфат калия, перхлорат калия, дигидрофосфат натрия, хлорид железа (III), ацетат натрия, хлорид аммония, ацетат алюминия?

Напишите сокращенные ионные уравнения процессов, протекающих при взаимодействии указанных солей с водой. Почему в таблице растворимости для карбонатов, сульфидов, сульфитов алюминия, хрома (III) и железа (III) стоят прочерки? Существуют ли указанные соли; если они существуют, то как их можно получить?

125. В вашем распоряжении имеются металлическое железо, концентрированная азотная кислота, карбонат кальция и вода. Предложите способы получения оксида железа (III), используя в качестве исходных только названные вещества.

126. Напишите уравнения реакций и укажите условия, с помощью которых можно осуществить следующие превращения:



§ 2. ВОДОРОД

Необходимо знать, что водород — особый химический элемент. В чем это проявляется? Почему он может быть расположен и в первой, и в седьмой группах периодической таблицы? С чем связана большая реакционная способность атомарного водорода? Отличаются ли между собой теплоты образования воды жидкой и воды парообразной? Напишите термохимическое уравнение образования жидкой воды из простых веществ. Что вы знаете о пероксиде водорода?

ЗАДАЧИ

127. Какую массу металлического лития нужно взять, чтобы при его взаимодействии с водой объемом 0,57 л образовался 20%-ный раствор гидроксида лития?

128. Какие объемы хлора и водорода потребуются (н. у.) для получения 1000 кг 37%-ного раствора соляной кислоты?

129*. Твердое кристаллическое соединение, состоящее из одновалентного металла и одновалентного неметалла, энергично реагирует с водой и водными растворами кислот с выделением водорода. При взаимодействии с водой этого вещества массой 2,4 г выделился водород объемом 2630 мл, измеренный при 37 °С и давлении $9,8 \cdot 10^4$ Па, а раствор приобрел щелочную реакцию. Определите состав вещества и напишите уравнения реакций его с водой, соляной кислотой и хлором.

130. Газ, выделившийся при действии 3,0 г цинка на 18,69 мл

14,6%-ного раствора соляной кислоты ($\rho = 1,07 \text{ г/см}^3$), пропущен при нагревании над 4,0 г оксида меди (II). Рассчитайте каким минимальным объемом 19,6%-ной серной кислоты ($\rho = 1,14 \text{ г/см}^3$) надо обработать полученную смесь, чтобы выделить из нее металлическую медь. Сколько граммов меди при этом образуется?

131. Газовую смесь объемом 3,6 л, предназначенную для синтеза хлороводорода (плотность ее по водороду $D_{\text{H}_2} = 20$), пропустили через раствор массой 200 г, содержащий 26,12 г смеси бромида и иодида калия. Хлор и соли прореагировали нацело. Определите массовые доли (%) иодида и бромида калия в исходном растворе и состав смеси исходных газов (в процентах по объему).

§ 3. КИСЛОРОД, СЕРА И ИХ СОЕДИНЕНИЯ

Объясните, почему кислород во всех своих соединениях проявляет только валентность 2, тогда как его аналоги — сера S, селен Se, теллур Te — проявляют в своих соединениях переменную валентность 2, 4, 6? Можно ли получить в лаборатории кислород, нагревая бертолетову соль KClO_3 без катализатора? Почему в 1961 г. химики и физики отказались от использования понятия «кислородная единица»? Чем «лучше» углеродная единица? Каковы валентность кислорода и степень его окисления в молекулах воды H_2O и пероксида водорода H_2O_2 ? Какова валентность и степень окисления кислорода в оксиде фтора F_2O ? Как можно отличить химическим путем кислород от озона? Объясните строение молекулы сероводорода. Можно ли получить оксид серы (VI), непосредственно окисляя серу в избытке кислорода? Знаете ли вы другие способы получения серной кислоты, кроме контактного? Что такое олеум?

ЗАДАЧИ

132. Имеется 2 л смеси оксида серы (IV) и кислорода. В результате реакции между ними образовалось 0,17 г оксида серы (VI). Определите объемный состав исходной смеси, учитывая, что оксид серы (IV) вступил в реакцию полностью. Укажите условия, необходимые для протекания реакции.
133. Оксид серы (IV) растворили в воде. К полученному раствору прилили бромную воду до начала появления окраски брома, а затем избыток раствора хлорида бария. Отфильтрованный и высушенный осадок имеет массу 1,165 г. Какой объем оксида серы (IV) был растворен в воде?

134. Какую массу оксида серы (IV) надо растворить в 100 г 91%-ного раствора серной кислоты для того, чтобы получить 30%-ный олеум?
135. При растворении в 50 мл 25%-ного раствора гидроксида натрия ($\rho = 1,28 \text{ г/см}^3$) всего оксида серы (IV), образовавшегося при сжигании 8,96 л сероводорода, получают раствор соли. Какого состава образуется соль и какова массовая доля (%) ее в растворе?
- 136*. В замкнутом сосуде вместимостью 1,5 л находилась смесь сероводорода с избытком кислорода при температуре 27°C и давлении 83,07 кПа. Смесь была подожжена. Продукты реакции растворили в воде объемом 49,18 мл, при этом образовался 1,64%-ный раствор кислоты. Найдите объемы газов (H_2S и O_2), входивших в состав исходной смеси (привести к нормальным условиям).
- 137*. В замкнутом сосуде емкостью 5,6 л находилась смесь сероводорода H_2S с избытком кислорода. Смесь была подожжена. После растворения продуктов реакции в воде массой 200 г получился раствор кислоты, которого оказалось достаточно для того, чтобы полностью обесцветить 100 г 8%-ного раствора бромной воды. Найдите массовую долю (%) образовавшейся кислоты в растворе, а также состав исходной газовой смеси (в процентах по массе).
138. Какая соль образуется при взаимодействии 17,1 г гидроксида бария с 10 г 49%-ного раствора серной кислоты и какова ее масса?

§ 4. ГАЛОГЕНЫ И ИХ СОЕДИНЕНИЯ

Объясните, почему фтор является сильнейшим из неорганических окислителей. Покажите, что фтор, единственный из галогенов, не может образовывать соединений, где у него была бы положительная степень окисления. Определите степени окисления фтора и кислорода во фториде кислорода F_2O . Почему хлор в соединениях одно-, трех-, пяти-, семивалентен и не проявляет валентность 2, 4, 6? Почему фтор, в отличие от всех других галогенов, не проявляет переменной валентности?

Какова формула хлорной извести — CaOCl_2 или $\text{Ca}(\text{OCl})_2$? Что такое бертолетова соль и каковы ее свойства? Почему I_2 при обычных условиях возгоняется, а не плавится? Какие еще вещества при нагревании на воздухе возгоняются?

ЗАДАЧИ

139. Напишите уравнения реакций известных способов получения хлора.
140. В двух пробирках налита бромная и иодная вода. Опре-

делите опытным путем, в какой пробирке находится иодная вода.

141. Колба с 250 г хлорной воды выставлена на солнечный свет. Выделяющийся газ собран, его объем оказался равным 0,112 л. Какова концентрация исходного раствора хлора (в процентах по массе)? Какой газ выделялся из хлорной воды?
142. При помощи каких газов из раствора иодида калия можно выделить свободный иод? Какой объем каждого из этих газов, измеренных при температуре 27 °С и давлении $1 \cdot 10^5$ Па, требуется для получения 25,4 г свободного иода?
143. К раствору, содержащему 1,600 г бромида калия, прибавили 5 г технического брома, содержащего примесь хлора. После упаривания смеси было получено 1,155 г твердого остатка. Определите массовую долю (%) хлора в препарате брома.
- 144*. При нагревании бертолетовой соли в отсутствие катализатора ее распад одновременно идет по двум направлениям: а) с образованием кислорода; б) с образованием перхлората калия. Рассчитайте, сколько процентов бертолетовой соли разложилось по реакциям а) и б), если при полном разложении 73,5 г бертолетовой соли было получено 33,5 г хлорида калия.
145. Газ, полученный прокаливанием 9,8 г бертолетовой соли, смешан с газом, полученным на аноде в результате полного электролиза расплава 22,2 г хлорида кальция. Полученную смесь газов пропустили через 400 г 2%-ного горячего раствора гидроксида натрия. Определите, какие вещества содержатся в полученном растворе, какова массовая доля (%) каждого из них в растворе, а также состав оставшейся смеси газов (в процентах по объему).
- 146*. Смесь водорода и хлора объемом 12 л поместили в закрытый кварцевый сосуд и облучали рассеянным светом. Через некоторое время облучение прекратили и полученную газовую смесь подвергли анализу. Оказалось, что в образовавшейся смеси содержится 30% хлороводорода, а содержание хлора снизилось до 20% от начального количества вещества. Определите состав исходной и конечной смеси газов (в процентах по объему).
- 147*. Смесь водорода и хлора объемом 4,8 л поместили в закрытый кварцевый сосуд и облучали рассеянным светом. Через некоторое время облучение прекратили и полученную газовую смесь подвергли анализу. Оказалось, что в ней содержится 30% хлороводорода (по объему), а содержание хлора снизилось до 20% от начального количества. Затем образовавшаяся смесь была пропущена

через 14%-ный горячий раствор гидроксида калия массой 40 г. Определите, какие вещества содержатся в растворе и какова массовая доля (%) каждого из них.

§ 5. АЗОТ, ФОСФОР И ИХ СОЕДИНЕНИЯ

При рассмотрении промышленного синтеза аммиака используйте понятия о химическом равновесии и закономерностях смещения равновесия (принцип Ле Шателье).

При изучении химических свойств аммиака должна быть понятной роль свободной электронной пары атома азота в реакции присоединения иона водорода с образованием иона аммония (понятие о донорно-акцепторной связи).

Проанализируйте, почему азот в своих соединениях не может проявлять валентность выше четырех. Сопоставьте валентность и степень окисления азота в азотной кислоте. При повторении материала по органической химии обратите внимание на реакции азотной кислоты с органическими веществами и сравните свойства аминов со свойствами аммиака.

ЗАДАЧИ

148. Приведите известные вам способы получения следующих веществ: N_2 , NO , NO_2 , N_2O_5 .
149. Имеется смесь веществ: $NaCl$, NH_4Cl , I_2 . Как можно разделить эту смесь?
150. К 24%-ному раствору нитрата аммония ($\rho = 1,1$ г/см³) объемом 45,45 мл прибавили 80 г 10%-ного раствора гидроксида натрия. Полученный раствор быстро прокипятили (потерями паров воды пренебречь). Определите, какие вещества остались после этого в растворе, и рассчитайте их содержание (в процентах по массе).
151. Газ, полученный при взаимодействии 9,52 г меди Cu с 50 мл 81%-ного раствора азотной кислоты ($\rho = 1,45$ г/см³), пропустили через 150 мл 20%-ного раствора гидроксида натрия ($\rho = 1,22$ г/см³). Определите массовые доли (%) растворенных веществ.
152. 12,4 г простого вещества А красного цвета сожгли в избытке воздуха. В результате образовался белый порошок В, который растворили в 471,6 мл горячей воды, и получили раствор С. Если раствор С нейтрализовать содой, а затем добавить избыток нитрата серебра, то выпадет ярко-желтый осадок. Назовите вещества А, В и С. Рассчитайте, сколько граммов порошка В образовалось. Определите состав и содержание (в процентах по массе) соли в растворе, полученном при взаимодействии 50 г раствора С с 1,12 г негашеной извести.
- 153*. К 100 г 13,8%-ного раствора нитрита натрия добавлено 10,7 г хлорида аммония. При нагревании выделился газ

объемом 4,48 л (н. у.), а из раствора было получено 11,7 г белого кристаллического вещества, образующего при действии нитрата серебра осадок. Выделившийся газ смешали с газом, полученным при действии 39 г цинка на избыток хлороводородной кислоты. Эта газовая смесь была последовательно пропущена над платиновым катализатором при 350 °С и затем после охлаждения — через 100 мл 2М раствора H_2SO_4 (содержащего 2 моль серной кислоты в 1 л раствора). Объем газа при этом уменьшился, а для нейтрализации оставшегося раствора потребовалось 41,67 мл 22,4%-ного раствора гидроксида калия ($\rho = 1,2 \text{ г/см}^3$). Напишите уравнения проведенных реакций. Определите состав газовой смеси после пропускания над платиновым катализатором (в процентах по объему).

154. Аммиак объемом 100 м³ (н. у.) пропустили через реактор, заполненный 500 кг 50%-ного раствора ортофосфорной кислоты. Определите состав (в процентах по массе) полученной смеси солей.
- 155*. Реактор, объем которого равен 80 л, разделен герметической перегородкой на две равные части. Одна половина заполнена аммиаком под давлением $5,67 \cdot 10^5 \text{ Па}$, вторая — хлороводородом под давлением $3,4 \cdot 10^5 \text{ Па}$, температура обоих газов 0 °С. Перегородку убрали. Оставшийся после окончания реакции газ был полностью поглощен 932 г 21,03%-ного раствора фосфорной кислоты. Определите, какое вещество содержится в полученном растворе и какова его массовая доля (%).
156. К 101 мл 20%-ного раствора хлорида аммония ($\rho = 1,06 \text{ г/см}^3$) прибавили 125 мл 18%-ного раствора гидроксида натрия ($\rho = 1,2 \text{ г/см}^3$) и полученный раствор прокипятили. Вычислите массовые доли (%) веществ, содержащихся в растворе, если потерями воды можно пренебречь.
157. При окислении фосфора 60%-ным раствором азотной кислоты ($\rho = 1,37 \text{ г/см}^3$) получены оксид азота (II) и ортофосфорная кислота, на нейтрализацию которой потребовалось 25 мл 25%-ного раствора гидроксида натрия ($\rho = 1,28 \text{ г/см}^3$), причем образовался дигидрофосфат натрия. Рассчитайте объем азотной кислоты, взятой для окисления фосфора, и объем выделившегося газа.
158. В 200 г 10%-ного раствора ортофосфорной кислоты H_3PO_4 растворили 14,2 г оксида фосфора P_2O_5 . Какова стала концентрация кислоты?
159. При нагревании водного раствора метафосфорной кислоты HPO_3 образуется ортофосфорная кислота H_3PO_4 . Рассчитайте исходную концентрацию (в процентах по массе) раствора метафосфорной кислоты, при нагревании которо-

го можно получить 19,6%-ный раствор ортофосфорной кислоты.

160. Фосфор, количественно выделенный из 31,0 г фосфата кальция $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, окислен при нагревании с 27,9 мл 70%-ного раствора HNO_3 ($\rho = 1,4 \text{ г/см}^3$). По окончании реакции к образовавшемуся раствору прилили 65,3 мл 20%-ного раствора NaOH ($\rho = 1,225 \text{ г/см}^3$). Какие вещества и в каком количестве содержатся в растворе?
- 161*. Фосфор, количественно выделенный из 31,0 г фосфата кальция $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, окислен в атмосфере кислорода, полученный препарат растворен в 200 мл 1,5 М раствора гидроксида калия. Какие вещества и в каком количестве содержатся в образовавшемся растворе?
- 162*. Раствор смеси дифосфорной и метафосфорной кислот разделен на две равные части, одну из которых сразу нейтрализовали гидрокарбонатом натрия, а вторую предварительно прокипятили, а затем так же нейтрализовали. Для нейтрализации первой части раствора потребовалось в 2,5 раза меньше соды, чем для второй. В каком молярном соотношении находились мета- и дифосфорная кислоты в исходном растворе?
163. При нагревании водного раствора дифосфорной кислоты $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$ последняя превращается в ортофосфорную кислоту. Рассчитайте исходную концентрацию (в процентах по массе) раствора дифосфорной кислоты, при нагревании которого можно получить 9,8%-ный раствор ортофосфорной кислоты.
164. Сколько молей (и граммов) красного фосфора и бертолетовой соли было израсходовано, если при растворении образовавшегося в результате их взаимодействия оксида фосфора (V) в 85,5 г 50%-ного раствора фосфорной кислоты массовая доля последней в растворе увеличилась на 12,5%?
165. Фосфористый водород, полученный гидролизом 145,6 г фосфида кальция, сожгли. Образовавшийся оксид фосфора (V) растворили в 200 мл 25%-ного раствора гидроксида натрия ($\rho = 1,28 \text{ г/см}^3$). Определите, какого состава образуется соль и какова ее массовая доля (%) в растворе. Напишите уравнения протекающих реакций.

§ 6. УГЛЕРОД, КРЕМНИЙ И ИХ СОЕДИНЕНИЯ

Попытайтесь обосновать структуру алмаза и графита. Сопоставьте физические и химические свойства алмаза и графита. Обратите внимание на химизм процесса аммиачного способа получения соды по Сольвэ.

166. Имеется смесь оксида углерода (IV) и кислорода. Как химическим путем выделить из этой смеси чистый кислород и чистый оксид углерода (IV)?
167. Через известковую воду пропущен 1 л смеси оксида углерода (II) и оксида углерода (IV). Выпавший при этом осадок был отфильтрован и высушен — масса его оказалась равной 2,45 г. Установите содержание газов (в процентах по объему) в исходной смеси.
- 168*. Навеску мрамора (содержащего примеси) массой 2,507 г растворили в разбавленной соляной кислоте. После нейтрализации из отфильтрованного раствора под действием оксалата аммония осаждался оксалат кальция (щавелевокислый кальций CaC_2O_4). При прокаливании осадка в электрической печи при 800°C получили оксид кальция, который обрабатывали серной кислотой, и вновь прокаливали. Полученное вещество имело массу 2,806 г. Определите содержание карбоната кальция в навеске мрамора (в процентах по массе).
169. Оксид углерода (IV) объемом 836 мл (н. у.) пропускали над раскаленным углем массой 0,105 г и затем полученную смесь газов — над раскаленным оксидом меди (II) массой 1,4 г. Какой объем 20%-ного раствора азотной кислоты ($\rho = 1,12 \text{ г/см}^3$) потребуется для растворения твердого продукта реакции с оксидом меди (II)?
170. Угарный газ не задерживается обычным фильтрующим противогазом, поэтому для защиты от оксида углерода (II) СО применяют дополнительный гопкалитовый патрон, в котором угарный газ окисляется оксидом марганца (IV). Рассчитайте срок годности гопкалитового патрона, содержащего 348 г оксида марганца (IV), если было установлено, что при работе с ним на химическом предприятии в атмосфере, содержащей СО, масса гопкалитового патрона после каждых суток работы в среднем увеличивалась на 5,6 г (условно принимаем, что образуется MnCO_3).
171. При кипячении водного раствора пищевой соды образуется водный раствор карбоната натрия. Рассчитайте, какова должна быть массовая доля (%) гидрокарбоната натрия в исходном растворе, чтобы после кипячения получить 10%-ный раствор карбоната натрия.
172. Элементарный фосфор получают восстановлением фосфата кальция углеродом в присутствии песка (SiO_2). Продуктами реакции являются фосфор, силикат кальция и оксид углерода (II). Напишите уравнение реакции этого процесса и рассчитайте, какую массу фосфора можно получить из 124 г фосфата кальция и какая масса углерода для этого необходима.

173. Определите объем водорода, выделившегося при обработке раствором гидроксида натрия смеси, полученной при сплавлении 6 г магния с 45 г оксида кремния (IV).
- 174*. При разложении 7,8 г двухосновной кислоты, в состав которой входит элемент IV группы периодической системы Менделеева, образуется 6,0 г твердого ангидрида этой кислоты. Укажите, какая кислота была взята, и рассчитайте минимальную массу 30%-ного раствора плавиковой кислоты, способного полностью растворить выделившийся ангидрид.
175. 13,8 г смеси, состоящей из кремния, алюминия и железа, обработали при нагревании гидроксидом натрия, при этом выделилось 11,2 л газа (при н. у.). При действии на такую же массу смеси избытка соляной кислоты выделяется 8,96 л газа. Определите массы и количества вещества компонентов смеси.

§ 7. ОБЩИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ. ЩЕЛОЧНЫЕ И ЩЕЛОЧНОЗЕМЕЛЬНЫЕ МЕТАЛЛЫ

Проиллюстрируйте общие свойства металлов (электропроводность и теплопроводность, ковкость и т. д.) как проявления особого вида химической связи — металлической.

ЗАДАЧИ

176. Чем отличается электролитический способ получения щелочных металлов от электролитического способа получения едких щелочей?
177. Какие вам известны простые вещества, реагирующие с растворами щелочей с выделением водорода? Приведите уравнения реакций.
178. Вычислите, какую массу (в килограммах) кальциевой селитры, используемой в качестве удобрения, можно получить из 148 кг гашеной извести, содержащей 8% посторонних примесей.
179. Для растворения оксида двухвалентного элемента массой 4,0 г потребовалось 25 г 29,2%-ного раствора соляной кислоты. Оксид какого элемента был взят для растворения?
180. Имеется 5,32 г смеси хлорида калия и хлорида натрия. Определите массы хлорида калия и хлорида натрия в смеси, если на осаждение всех ионов хлора было израсходовано 500 мл 0,16 М раствора нитрата серебра.
- 181*. Как известно, важная область применения пероксидов щелочных металлов — регенерация кислорода в замкнутых помещениях. Так, на советских космических кораблях

«Восток» и «Восход» необходимый для дыхания кислород регенерировали с помощью надпероксида калия KO_2 . Считая, что каждый космонавт в течение суток выдыхает 1056 г углекислого газа CO_2 , и зная, что на борту космического корабля содержится 47,7 кг KO_2 , определите, в течение скольких суток будет обеспечиваться жизнедеятельность на орбите экипажа, состоящего из двух человек.

182. Смесь массой 7,3 г, состоящую из хлорида калия, хлорида натрия и гидросульфата натрия, сильно нагрели. При этом выделилось 896 см^3 газа. Газ реагирует с раствором нитрата серебра с образованием нерастворимого в кислотах белого осадка. Сухой остаток после прокаливания растворили в воде. Раствор имел нейтральную реакцию и не обнаруживал видимых изменений при добавлении к нему нитрата серебра. После прибавления к раствору избытка хлорида бария выпало 9,32 г осадка. Определите состав смеси (в граммах и в массовых долях (%)).
183. Определите состав смеси хлоридов натрия и калия (в граммах), если известно, что при нагревании 4,15 г этой смеси с избытком концентрированной серной кислоты было получено газообразное вещество, при растворении которого в 22,8 мл воды получили кислый раствор. (Изменением объема при растворении пренебечь.) Чему равна массовая доля (%) этого вещества в растворе, если при действии на раствор избытка цинковой пыли объем выделившегося газа составлял 0,672 л (н. у.)?
184. Какого состава образуются соли и каковы их массовые доли (%) в растворе, полученном при растворении 24,6 л хлора (измеренного при температуре 27°C и давлении $1 \cdot 10^5 \text{ Па}$) в 326,53 мл 20%-ного горячего раствора гидроксида натрия, плотность которого $\rho = 1,225 \text{ г/см}^3$?
185. При обработке 41,6 г смеси кристаллических фторида и хлорида калия избытком концентрированной серной кислоты образовалось 14,35 л газа ($1 \cdot 10^5 \text{ Па}$, 20°C). Определите массы фторида и хлорида калия.
186. Некоторую массу соли состава $\text{MgCO}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ прокаливали до прекращения выделения газов. Последние были пропущены через промывные склянки с концентрированной серной кислотой и известковой водой. Масса первой промывной склянки увеличилась на 1,8 г, а во второй выпало 1,97 г осадка. Определите состав исходного кристаллогидрата и его массу (в граммах).
187. При взаимодействии соляной кислоты со смесью магния и карбоната магния выделилось 11,2 л газа. После сжигания газа и конденсации водяных паров объем газа уменьшился до 4,48 л. Определите массовую долю (%) магния в смеси.

188. Двухвалентный металл массой 2,64 г сожгли в избытке кислорода, образовавшееся вещество полностью растворили в соляной кислоте. К полученному раствору прибавили раствор сульфата натрия до прекращения выделения осадка. Выпавший осадок отфильтровали, промыли водой и высушили до постоянной массы. При этом было получено 4,66 г белого вещества. Определите, какой был взят металл, и напишите уравнения всех проведенных реакций.
- 189*. К 250 мл 0,1 М раствора нитрата магния добавлено 194 мл 4,3%-ного раствора гидроксида бария ($\rho = 1,03 \text{ г/см}^3$). Определите молярные концентрации соединений, содержащихся в растворе, если суммарный объем раствора после отделения осадка уменьшился на 4 мл.

§ 8. АЛЮМИНИЙ, ЖЕЛЕЗО И ИХ СОЕДИНЕНИЯ

Обратите внимание на реакции алюминия с водой и раствором щелочей. Может ли реагировать алюминий с расплавленной щелочью в отсутствие воды?

Изучение каждой подгруппы металлов (или неметаллов) необходимо закончить характеристикой всех элементов подгруппы с тем, чтобы определить закономерности изменения свойств элементов и их соединений в зависимости от положения в периодической системе. Начинать же изучение металлов необходимо с общих вопросов, которые понадобятся для последующего изучения отдельных металлов, — нужно еще раз вспомнить, что такое металлическая связь, кристаллическая структура металлов, как образуются сплавы и т. д.

ЗАДАЧИ

190. Какую массу алюминия нужно взять для получения 15,2 г хрома из его оксида алюмотермическим способом?
191. Смесь массой 6 г из алюминия и меди обработали соляной кислотой и собрали 3,7 л водорода. Определите массовые доли (%) металлов в смеси.
192. К 15 мл 1 М раствора хлорида алюминия прибавили 25 мл 2 М раствора гидроксида натрия. Осадок отфильтровали и прокалили. Определите его массу и химический состав.
193. При растворении 1,11 г смеси железных и алюминиевых опилок в 18,25%-ном растворе соляной кислоты ($\rho = 1,09 \text{ г/см}^3$) выделилось 0,672 л водорода (н. у.). Найдите массовую долю (%) каждого из металлов в смеси и определите объем 18,25%-ного раствора соляной кислоты, израсходованной на растворение 1,11 г смеси.

- 194*. К 300 г 22%-ного раствора серной кислоты, содержащего сульфат железа (III), прибавили алюминий массой 3,24 г. После того как вся соль прореагировала, а алюминий Al растворился с образованием прозрачного раствора (водород при этом не выделялся), раствор обработали 200 г 5%-ного раствора дихромата калия. Какие вещества находятся в конечном растворе и каковы их массы?
195. Газ, выделившийся при действии 10,8 г алюминия на 160 г 5%-ного раствора гидроксида натрия, пропущен при нагревании над порошком оксида меди (II) массой 40 г. Рассчитайте, каким минимальным объемом 19,6%-ного раствора серной кислоты ($\rho = 1,10 \text{ г/см}^3$) надо обработать полученную смесь, чтобы выделить из нее металлическую медь в чистом виде. Сколько граммов меди при этом будет получено?
196. Сплав меди с алюминием общей массой 2 г обработали раствором щелочи. Остаток растворили в разбавленной азотной кислоте, образовавшуюся при этом смесь выделили и прокалили. Масса остатка после прокаливания составила 0,8 г. Определите объем израсходованного 40%-ного раствора едкого натра ($\rho = 1,04 \text{ г/см}^3$) и содержание металлов в сплаве (в процентах по массе).
197. Имеется 10 г железных опилок, содержащих примесь медных. Определите массу медных опилок, если действием на эту смесь соляной кислотой было получено 3,93 л водорода.
198. Для хлорирования 3 г смеси железа с медью пошло 1,12 л хлора. Определите состав смеси металлов (в граммах). Что будет происходить при действии на данную смесь соляной кислоты?
- 199*. Металл сожжен в кислороде с образованием 2,32 г оксида, для восстановления которого до металла необходимо было затратить 0,896 л оксида углерода (II) (н. у.). Восстановленный металл растворили в разбавленной серной кислоте, полученный раствор давал темно-синий осадок с красной кровавой солью (гексацианоферратом (III) калия). Определите формулу оксида металла. Напишите уравнения всех протекающих реакций.
- 200*. 1,76 г сульфида неизвестного металла сожгли в избытке кислорода. Образовавшееся твердое вещество полностью растворили в соляной кислоте. К полученному раствору прибавили раствор гидроксида натрия до прекращения выделения осадка. Выпавший осадок отфильтровали, промыли водой и высушили до постоянной массы. При этом было получено 2,14 г красно-бурого вещества, которое затем вновь растворили в соляной кислоте. При приливании к этому раствору раствора

желтой кровяной соли (гексацианоферрата (II) калия) наблюдалось образование темно-синего осадка. Определите формулу взятого сульфида.

201. Для полного хлорирования 3 г порошковой смеси железа и меди потребовалось 1,12 л хлора. Определите, какие массы концентрированной 83,3%-ной серной кислоты и концентрированной 36,5%-ной соляной кислоты прореагируют на холоду с одной и той же исходной массой смеси порошков. Рассчитайте массовые доли (%) металлов в исходной смеси.
202. При взаимодействии 11,2 г металла VIII группы периодической системы с хлором образовалось 32,5 г хлорида металла. Определите, какой это металл, а также какую массу оксида марганца (IV) и какой объем 37%-ного раствора соляной кислоты ($\rho = 1,19 \text{ г/см}^3$) нужно было взять для получения необходимого числа молей хлора.
- 203*. Раствор хлорида калия массой 500 г был подвергнут электролизу в два этапа. Газ, выделившийся на аноде в течение первого этапа, нацело реагировал в соответствующих условиях с алюминием массой 2,7 г. Газ, выделившийся на катоде в течение обоих этапов электролиза, был пропущен над нагретым магнитным железняком, при этом образовалось железо массой 21 г. Определите, какое вещество образовалось в растворе в результате электролиза и как изменилась его массовая доля (%) за время второго этапа.

§ 9. СМЕШАННЫЕ ЗАДАЧИ

204. Для получения водорода в лаборатории взяли 250 г раствора серной кислоты. После того как вся кислота была израсходована, объем выделившегося водорода (измеренный при условиях: $t = 27^\circ \text{C}$ и $p = 1 \cdot 10^5 \text{ Па}$) оказался равным 6,15 л. Определите концентрацию взятой кислоты (в процентах по массе).
205. Имеются две соли А и В. Одна из них А — оранжевая, хорошо растворимая в воде, ее раствор окрашивает пламя в бледно-фиолетовый цвет. Соль А — окислитель, при взаимодействии ее с восстановителем в кислой среде окраска раствора меняется на зеленовато-фиолетовую. Другая соль В — белая, при нагревании разлагается на газообразные продукты. Раствор соли при взаимодействии с AgNO_3 дает белый творожистый осадок. Соли А и В при нагревании реагируют между собой. Определите, какие это соли. Рассчитайте молярный состав смеси А и В, при нагревании которой выделилось 2,24 л газа, а в продукте реакции, обработанном водой, было

- получено 15,2 г оксида металла (III) зеленого цвета, практически нерастворимого в воде.
206. В раствор хлорида металла (металл I группы периодической системы Менделеева, масса иона металла в составе соли равна 3,2 г) погрузили железную пластинку массой 50 г. После полного выделения металла масса пластинки увеличилась на 0,8%. Определите, хлорид какого металла был взят.
207. Имеется раствор, содержащий одновременно серную и азотную кислоты. Определите массовую долю (%) каждой из кислот в растворе, если при нейтрализации 10 г этого раствора расходуется 12,5 мл 19%-ного раствора гидроксида калия ($\rho = 1,18 \text{ г/см}^3$), а при добавлении к 10 г такого же раствора избытка хлорида бария образуется 2,33 г осадка.
208. При обжиге 12,48 г пирита получили 4,48 л (н. у.) оксида серы (IV); поглотили весь газ 25%-ным раствором гидроксида натрия ($\rho = 1,28 \text{ г/см}^3$) объемом 250 мл. Какая соль образовалась? Какую массу дихромата калия можно восстановить образовавшейся солью, учитывая, что реакция происходит в растворе, подкисленном серной кислотой? Определите массовую долю (%) примесей в пирите.
209. Для нейтрализации 10,0 г раствора, содержащего смесь хлороводородной и бромоводородной кислот, потребовалось 2,5 г 3,2%-ного раствора NaOH, а при действии на раствор той же массы раствором нитрата серебра выпало 0,3315 г осадка. Определите массовые доли (%) кислот в исходном растворе.
- 210*. На 67,4 г смеси оксида марганца (IV) с неизвестным оксидом состава ЭO_2 действовали избытком хлороводородной кислоты. (Оксид ЭO_2 реагирует с хлороводородной кислотой так же, как оксид марганца (IV)). При этом выделилось 13,44 л газа (н. у.). (Молярное отношение неизвестного оксида и оксида марганца (IV) равно 1:5). Определите, что представляет собой неизвестный оксид и какова была его масса в смеси?
211. Какие массы перманганата калия KMnO_4 и пероксида водорода H_2O_2 необходимы для получения 11,2 л (н. у.) кислорода при проведении реакции в кислой среде?
212. При электролизе раствора хлорида металла, катион которого двухзаряден, на катоде выделилось 0,16 г металла. При растворении этой массы металла в концентрированной азотной кислоте образовалось 0,112 л бурого газа (н. у.). Какой это был металл и какая масса соли подверглась электролизу?
213. Водный раствор гидроксида натрия подвергли электролизу; сила тока — 10 А, время электролиза — 268 ч.

После окончания электролиза осталось 50 г 24%-ного раствора NaOH. Определите массовую долю (%) NaOH в первоначальном растворе.

- 214*. Реактор, объем которого 80 л, разделен герметической перегородкой на две равные части. Одна половина заполнена хлороводородом под давлением $5,67 \cdot 10^5$ Па, другая — аммиаком под давлением $3,40 \cdot 10^5$ Па. Температуру обоих газов считать равной 0 °С. Перегородку убрали. Оставшийся после окончания реакции в реакторе газ был полностью поглощен 8,38%-ным раствором KMnO_4 (масса раствора 942,75 г). В результате раствор перманганата калия полностью обесцветился. Определите, какие вещества содержатся в полученном растворе и каковы их массовые доли (%).
215. Имеется тяжелая бесцветная жидкость, при растворении которой в воде происходит сильное разогревание раствора. Если склянку с этой жидкостью оставить открытой на воздухе, то масса жидкости постепенно увеличивается, если опустить в эту жидкость кусочек дерева, то он обугливается. Определите, что это за жидкость и какую массу меди нужно взять, чтобы при взаимодействии ее с этой жидкостью выделилось такое количество вещества газа, которого хватило бы на обесцвечивание раствора, содержащего 31,6 г перманганата калия.
- 216*. Соединение А массой 22 г, состоящее из двух элементов, подвергли обжигу в избытке воздуха. Образовался газ В и твердый остаток С. Раствор С в хлороводородной кислоте после нейтрализации до слабокислой реакции дает синий осадок с желтой кровавой солью — гексацианоферратом (II) калия. При восстановлении С водородом образуется металл. Если газ В пропустить над катализатором вместе с газом, который выделяется при разложении бертолетовой соли, а затем растворить в воде, то получается 35 г 70%-ного раствора вещества D, которое при нагревании взаимодействует с упомянутым выше металлом, выделяя газ В. При действии хлорида бария на раствор D выпадает белый осадок. Определите состав соединения А. Напишите уравнения всех протекающих реакций.
- 217*. К насыщенному раствору соли, имеющему оранжевый цвет (пламя окрашивает в фиолетовый цвет), осторожно прилили концентрированную серную кислоту. Выпал осадок ярко-красного цвета. Кристаллы отфильтровали, осторожно высушили на воздухе, а затем с помощью пипетки прилили к ним спирт. Он воспламенился. В результате реакции образовался порошок зеленого цвета и выделился газ, который собрали и пропустили через избыток известковой воды. Выпало 10 г осадка. Опреде-

лите, какая соль и какой массой была взята в начале превращений.

218. При растворении в соляной кислоте 19,4 г соли металла второй группы таблицы Менделеева выделяется газ с неприятным запахом, при пропускании которого в раствор сульфата меди выпадает черный осадок. При обжиге в избытке воздуха такой же навески исходной соли образуется оксид, растворимый в щелочи, и выделяется газ, растворимый в воде с образованием кислоты, способной обесцветить 32 г брома. Определите состав исходной соли.
219. Чтобы определить содержание меди в техническом препарате, 4 г его растворили в 20%-ном растворе азотной кислоты. Полученный раствор обработали раствором щелочи. После прокаливания всего выпавшего осадка образовалось 4,8 г оксида меди (II). Какой объем занял выделившийся оксид азота (II) (н. у.)? Вычислите объем 20%-ного раствора азотной кислоты ($\rho = 1,12 \text{ г/см}^3$), вступившей в реакцию. Какова массовая доля (%) меди в техническом препарате?
220. Сера и алюминий, содержащиеся в смеси, взаимодействовали между собой. Продукт реакции обработали горячей водой. Часть выделившегося газа пропустили через хлорную воду, отделили выпавший осадок, а к раствору добавили избыток нитрата серебра. Образовалось 8,61 г белого творожистого осадка. Другую часть газа пропустили через 145 см³ 10%-ного раствора сульфата меди ($\rho = 1,10 \text{ г/см}^3$), в результате чего концентрация сульфата меди в растворе стала равной 6,09%. Рассчитайте массу серы, вступившей в реакцию. Напишите уравнения всех реакций.
- 221*. Какова массовая доля (%) веществ в растворе, получившемся после растворения меди в избытке 17,8%-ного раствора азотной кислоты, если после окончания реакции массовые доли нитрата меди и азотной кислоты стали равны.
- 222*. В процессе синтеза аммиака давление в реакторе упало на 10%. Определите состав полученной после реакции газовой смеси (в процентах по объему), если в исходной смеси содержание азота и водорода отвечало стехиометрическому соотношению.
223. Определите массу 1 л газовой смеси He, Ar и Ne (при н. у.), если на один атом He в газовой смеси приходится два атома Ne и три атома Ar.
224. В результате растворения металла А в горячей концентрированной кислоте и охлаждения раствора кристаллизуется голубое вещество В. При нагревании вещество В обесцвечивается, а при прокаливании превращается в чер-

ный порошок С. Общая убыль массы при прокаливании вещества В составила 42,5 г. Назовите вещества А, В и С. Напишите уравнения реакций. Определите, какая масса (в граммах) вещества В выделилась при кристаллизации из раствора и какой объем (в миллилитрах) 96%-ного раствора серной кислоты ($\rho = 1,84 \text{ г/см}^3$) необходимо ввести в реакцию с металлом, чтобы получить данную массу вещества В.

225. При сжигании 0,896 л (н. у.) смеси CO и CO₂ в избытке кислорода было израсходовано 0,112 л кислорода, образовавшаяся газовая смесь пропущена через раствор, содержащий 2,96 г гашеной извести. Определите состав исходной газовой смеси (в процентах по объему), а также состав и массу образовавшейся соли.
226. Весь хлороводород, полученный из хлорида калия, имеющегося в 100 г смеси хлорида и нитрата калия, растворили в 71,8 мл воды. (Известно, что при прокаливании 100 г исходной смеси хлорида и нитрата калия остается 93,6 г твердого остатка.) Вычислите массовую долю (%) хлороводорода в полученной соляной кислоте.
227. Через сколько лет из 1 г радия останется нераспавшимся $1/_{10}$ его, если период полураспада радия составляет 1620 лет?
- 228*. Имеется смесь азота и водорода. Азот получен термическим разложением 12,8 г нитрита аммония, водород — «растворением» 19,5 г цинка в избытке разбавленной серной кислоты. В соответствующих условиях газы прореагировали, а затем их пропустили через 100 мл 32%-ного раствора серной кислоты ($\rho = 1,22 \text{ г/см}^3$). Определите, какой газ оказался в избытке и какова массовая доля (%) соли в растворе. Считать, что все реакции проходят с выходом 100%.
- 229*. Определите состав смеси оксида углерода (II) и сероводорода (в процентах по объему), если известно, что образовавшиеся при их полном сгорании в избытке кислорода газы могут восстановить в водной среде перманганат калия массой 31,6 г. Оставшиеся после восстановления перманганата калия газообразные продукты полностью поглощаются раствором гидроксида натрия, образуя по 1 молю кислой и средней соли.
230. Смесь железа и меди обработали концентрированной азотной кислотой. Остаток отфильтровали, промыли водой, высушили, а затем прохлорировали. Получилось 16,25 г хлорида. Фильтрат выпарили, получившуюся соль высушили и прокалили. Масса остатка после прокаливании 15,9 г. Определите молярный состав смеси металлов, а также количество вещества (и массу) оксида марганца (IV) и массу 36%-ной соляной кислоты, требующихся

для получения хлора, если на реакцию хлорирования расходуется 50% от полученного хлора.

231. Газ, выделившийся при взаимодействии некоторой массы гидросульфита натрия с соляной кислотой, был смешан с газом, полученным при действии избытка соляной кислоты на 8,8 г сульфида железа (II). В результате реакции объем газа оказался равным 4,48 л (н. у.). Определите количество вещества и массу исходного гидросульфита натрия.
- 232*. Смешали хлорид аммония с гашеной известью и нагрели. Выделившийся газ объемом 1000 мл в определенных условиях подвергли разложению на простые вещества, при этом произошло увеличение объема газа в 1,5 раза. Неразложившийся газ растворили в 98,83 г воды и добавили оксид фосфора (V) такой массой, что в растворе образовался только гидрофосфат. Определите массовую долю (%) гидрофосфата в растворе.
233. В двух сосудах находятся газы А и В. Оба газа бесцветны. Газ А с резким запахом, газ В — удушливый; суммарный объем обоих газов равен 6,72 л. При окислении газа А (в присутствии катализатора) образуются 5,4 г воды и газ С, быстро превращающийся в бурый газ D. Газ В очень хорошо растворяется в воде, его раствор — кислота. При добавлении в эту кислоту избытка нитрата серебра выпадает 14,35 г осадка белого цвета. При соприкосновении газов А и В образуется соль Е, которая при нагревании опять распадается на газы А и В. Назовите все перечисленные вещества. Определите их количества (в молях). Напишите уравнения всех протекающих реакций.
234. Какой объем оксида серы (IV) образуется при обжиге 24 г серного колчедана? (Серный колчедан примесей не имеет.) Какой объем кислорода был затрачен при этом? Какова массовая доля (%) серной кислоты в растворе, полученном растворением оксида серы (VI) (образовавшегося при окислении всего оксида серы SO_2) в 28,44 мл 20%-ного раствора серной кислоты ($\rho = 1,14 \text{ г/см}^3$)?
235. Смесь хлоридов натрия и калия, масса которых 0,7 г, обрабатывали горячим раствором серной кислоты, взятым в избытке. Образовавшийся газ растворили в 31,5 мл воды. При взаимодействии 10 г этого раствора с избытком цинковой пыли выделяется 40 мл (н. у.) газа. Определите массы и массовые доли (%) хлоридов металлов в исходной смеси.
236. Масса смеси, состоящей из металла, катион которого в растворе трехзаряден, и его оксида, равна 21,0 г. Для полного растворения этой смеси потребовалось 100 г 24%-ного раствора гидроксида натрия, при этом выде-

лилось 13,44 л газа (н. у.). Определите состав смеси и массовые доли (%) компонентов.

- 237*. Имеется смесь 6,3 г серы и фосфора, которую обрабатывали избытком концентрированной азотной кислоты при нагревании. При этом выделилось 24,64 л бурых газов (н. у.). Полученные газы были пропущены через 949,4 г 6,5%-ного раствора гидроксида калия. Какие соли содержатся в полученном растворе и каковы их массовые доли (%)? Определите массовые доли (%) серы и фосфора в исходной смеси.
238. Через 36,7 мл 20%-ного раствора гидроксида натрия ($\rho = 1,2 \text{ г/см}^3$) пропустили газ, полученный при взаимодействии 10 г меди с 50 мл 81%-ного раствора азотной кислоты ($\rho = 1,45 \text{ г/см}^3$). Определите массовые доли (%) веществ в растворе.
- 239*. Имеется 24,0 г смеси сульфата, нитрата и гидрокарбоната натрия, при прокаливании которой до 300°C выделился газ, объем которого составил 2,24 л. При пропускании данного количества газа через избыток известковой воды было получено 5,0 г осадка. Определите состав исходной смеси (в молях и в процентах по массе).

Глава III

ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Приступая к решению задач по органической химии, необходимо прежде всего повторить основные положения теории химического строения органических соединений. Желательно уметь показать взаимное влияние атомов в молекулах различных органических соединений.

Затем нужно рассмотреть современные электронные представления в теории строения органических соединений, понятия о гибридизации атомов углерода (sp -, sp^2 -, sp^3 -типы гибридизации), об индуктивном эффекте и эффекте сопряжения. Умейте применять эти представления для объяснения свойств веществ и механизмов химических реакций.

При решении задач данной главы необходимо учитывать общие положения:

1) выходы всех химических реакций принимать за 100%-ные (количественные), если нет дополнительных указаний о выходах реакций;

2) считать, что объемы газов, указанные в условиях задач, измерены при нормальных условиях;

3) необходимо рассчитывать объемы газов, приведенные к нормальным условиям.

§ 1. ПРЕДЕЛЬНЫЕ УГЛЕВОДОРОДЫ (АЛКАНЫ)

Рассмотрите правила номенклатуры предельных углеводородов. Имейте в виду, что начиная с четвертого члена гомологического ряда предельных углеводородов (с общей формулой C_nH_{2n+2}) имеет место структурная изомерия. Углеводород с n , равным 4 (бутан), имеет два изомера. Углеводород с n , равным 5 (пентан), — три изомера. Далее число изомеров быстро возрастает.

Первые четыре члена гомологического ряда алканов имеют тривиальные названия, например пропан, n -бутан. Далее названия углеводородов образуются из греческих и латинских (нонан) числительных с добавлением суффикса *-ан*: n -пентан, n -гексан, n -гептан и т. д.; приставка n - означает

«нормальный», т. е. с неразветвленной цепью углеродных атомов.

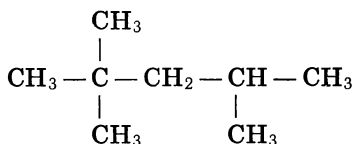
Чтобы дать названия изомерам с разветвленной цепью, необходимо знать наименования простейших одновалентных органических радикалов, т. е. остатков, образующихся в результате отрыва атома водорода от предельных углеводородов. Одновалентные радикалы называют, заменяя суффикс *-ан* (в названиях предельных углеводородов) на *-ил*: алканы — алкилы.

Если свободная валентность в радикале принадлежит атому углерода, имеющему только одну непосредственную связь с углеродным атомом, то радикал называется *первичным*. При наличии двух связей с углеродными атомами радикал называют *вторичным*, трех таких связей — *третичным*. Например, образуем первичные радикалы: метан — метил- (CH_3-), этан — этил- (CH_3-CH_2-), *н*-бутан — *н*-бутил- ($\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_3-$); вторичные радикалы: пропан — изопропил- ($\text{CH}_3-\text{CH}-$), *н*-бутан — *втор*-бутил- ($\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}_3$);



третичный радикал: изобутан — *трет*-бутил [$(\text{CH}_3)_3\text{C}-$].

Понятия «первичный», «вторичный», «третичный» и «четвертичный» в органической химии относятся и к углеродным атомам. Например, 2, 2, 4-триметилпентан (изооктан):



имеет пять первичных, один — вторичный, один — третичный и один — четвертичный углеродные атомы.

Названия изомеров с разветвленной цепью углеродных атомов строятся следующим образом. За основу принимается название углеводорода, которому отвечает в рассматриваемом соединении самая длинная цепь. Далее вся эта цепь нумеруется, начиная с того конца, к которому ближе радикал-заместитель. В названии соединения цифрой показывают место радикала-заместителя и называют этот заместитель, а затем называют углеводород, которому отвечает главная цепь. При равном удалении двух разных заместителей (радикалов) порядок нумерации определяется алфавитным порядком названий радикалов. Если имеется несколько одинаковых заместителей, то впереди указываются номера всех атомов углерода, обозначающие положение заместителей, а количество радикалов в этом случае указывают приставками: *ди*-, *три*-, *тетра*- и т. д.

Рассмотрите общие методы синтеза предельных углеводородов. Имейте в виду, что предельные углеводороды могут быть получены из соединений с тем же, а также меньшим и большим числом углеродных атомов.

Обратите внимание на особенности химического поведения предельных углеводородов: радикальное замещение — основной тип реакций предельных углеводородов. Повторите раздел о крекинге углеводородов — термическом и каталитическом.

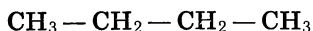
ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ

Задача 1. Напишите все изомерные углеводороды состава C_5H_{12}

Решение. При выводе формул изомеров пентана можно пользоваться двумя путями.

1-й способ. Можно исходить из формул предшествующего гомолога — бутана, заменяя в них различные по своему положению атомы водорода группой CH_3 .

Напишем формулы исходных бутанов:



n-бутан

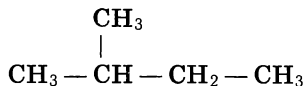


изобутан

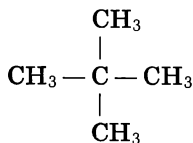
Затем заменим различные водородные атомы в формулах бутана и изобутана группой $-CH_3$:



n-пентан



изопентан
(2-метилбутан)



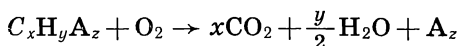
неопентан
(2,2-диметилпропан)

2-й способ. Написать формулу пентана нормального строения. Затем укорачивать цепь на одну CH_3 -группу и производить все возможные перестановки CH_3 -группы.

Задача 2. При сжигании 7,2 г органического вещества, плотность паров которого по водороду 36, образовалось 22 г оксида углерода (IV) и 10,8 г воды. Определите строение исходного соединения, если известно, что при радикальном

хлорировании его может образоваться только одно монохлорпроизводное.

Решение. Составим уравнение сгорания органического соединения неизвестного состава:



Молярные массы равны: $M(CO_2) = 44$ г/моль, $M(H_2O) = 18$ г/моль;

Найдем содержание водорода и углерода в веществе:

$$m(H_2) = \nu(H_2) \cdot M(H_2) = \frac{m(H_2O)}{M(H_2O)} \cdot M(H_2) = \frac{10,8 \text{ г} \cdot 2 \text{ г/моль}}{18 \text{ г/моль}} = 1,2 \text{ г}$$

$$m(C) = \nu(C) \cdot A(C) = \frac{m(CO_2)}{M(CO_2)} \cdot A(C) = \frac{22 \text{ г} \cdot 12 \text{ г/моль}}{44 \text{ г/моль}} = 6 \text{ г}$$

Так как суммарная масса водорода и углерода составляет $(1,2 + 6) 7,2$ г и равна массе сожженного вещества, значит, $z = 0$ и, следовательно, был сожжен углеводород состава C_xH_y .

Найдем относительную молекулярную массу углеводорода:

$$M_r(C_xH_y) = M_r(H_2) \cdot D_{H_2}(C_xH_y) = 2 \cdot 36 = 72$$

Установим молекулярную формулу углеводорода. Составим пропорцию и решим ее:

из 7,2 г C_xH_y образуется 22 г CO_2

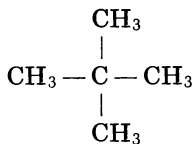
из 72 г C_xH_y образуется 44 · x г CO_2

$$\frac{44 \cdot x \text{ г}}{22 \text{ г}} = \frac{72 \text{ г}}{7,2 \text{ г}}; x = 5$$

Следовательно, в молекуле C_xH_y имеется пять атомов углерода. Определим число атомов водорода:

$$y = \frac{M_r(C_xH_y) - [A(C) \cdot x]}{A_r(H)} = \frac{72 - (12 \cdot 5)}{1} = 12$$

Таким образом, молекулярная формула углеводорода — C_5H_{12} , т. е. это предельный углеводород (C_nH_{2n+2}). Так как известно, что при радикальном хлорировании его может образоваться только одно монохлорпроизводное, значит, исходный углеводород — неопентан:



ЗАДАЧИ

240. Выведите структурные формулы всех изомерных предельных углеводородов, содержащих шесть атомов уг-

лерода в молекуле. Назовите углеводороды по систематической номенклатуре.

241. Напишите структурные формулы изомерных предельных углеводородов состава C_7H_{16} , главная цепь которых состоит из пяти углеродных атомов, и назовите их по систематической номенклатуре. Укажите число первичных, вторичных, третичных и четвертичных атомов углерода в каждом изомере.
242. Являются ли соединения $CH_3-(CH_2)_4-CH_3$ и $CH_3-CH_2-CH(CH_3)-CH_2-CH_3$ изомерами?
243. Напишите структурные формулы следующих соединений: 3-метилпентана, одного из гомологов пропана и одного из изомеров бутана.
244. Какой из приведенных углеводородов относится к алканам: C_5H_{12} ; C_7H_{14} ; C_6H_6 ; C_2H_2 ; $C_{22}H_{44}$?
245. Напишите молекулярные формулы предельных углеводородов, содержащих пять, девять и двадцать атомов углерода в молекуле.
246. Напишите структурные формулы всех возможных изомерных радикалов: C_2H_5- , C_3H_7- , C_4H_9- и назовите их.
247. Напишите структурные формулы следующих углеводородов: а) 2-метилпентан; б) 4-этилгептан; в) 2-метил-4-этилгексан; г) 2,2,4-триметилпентан; д) 2,2,4,4-тетраметилпентан.
248. Какое из указанных названий углеводорода состава C_7H_{16} отвечает правилам систематической номенклатуры: а) диметил-втор.-бутилметан; б) метилэтилизопропилметан; в) 2,3-диметилпентан? Напишите структурные формулы этих углеводородов.
249. Укажите, какие из приведенных соединений являются идентичными: а) диметилдипропилметан; б) диметилэтилпропилметан; в) 3,3-диметилгексан; г) 4,4-диметилгептан.

Для проверки назовите все указанные соединения по систематической номенклатуре.

250. Напишите структурные формулы всех предельных углеводородов с пятью атомами углерода в главной цепи, плотность паров которых по водороду равна 50. Назовите их по систематической номенклатуре.
251. Назовите по систематической номенклатуре предельный углеводород с четырьмя атомами углерода в главной цепи, молекулярная масса которого равна 114.
252. Вычислите элементный состав (в процентах по массе) предельных углеводородов, плотность паров которых по водороду равна 36.
253. Рассчитайте массу 5 л пропана.
254. 1 л газообразного предельного углеводорода имеет массу

- 1,965 г. Рассчитайте молярную массу углеводорода, назовите его.
255. Какой из изомерных октанов употребляется как эталон для определения антидетонационных свойств бензина?
256. Рассчитайте плотность этана: а) по воздуху; б) по водороду.
257. Какой газообразный гомолог метана имеет плотность большую, чем плотность воздуха?
258. Какие предельные углеводороды могут быть получены при действии металлического натрия на: а) этилиодид; б) изопропилбромид; в) 2-бромбутан? (Реакция Вюрца).
259. Приведите схемы реакций известных вам способов получения пропана.
260. Рассчитайте, сколько литров метана (н. у.) получится при сплавлении 10 г безводного ацетата натрия с гидроксидом натрия.
261. Какие предельные углеводороды получатся при действии металлического натрия на следующие смеси реагентов: а) метилиодид и этилиодид; б) этилбромид и изопропилиодид; в) метилиодид и *n*-пропилбромид?
262. 5,6 л пропана сожгли в 11,2 л кислорода. Определите количественный состав (в литрах) образовавшейся смеси газов. Считать, что ни пиролиза, ни крекинга пропана при этом не происходит и не образуется продуктов неполного сгорания. Сколько граммов воды образуется при этом?
263. Углеводород имеет элементный состав: 82,76% углерода и 17,24% водорода. При монохлорировании (радикальном) углеводород образует два изомерных алкилхлорида — первичный и третичный. Определите строение исходного углеводорода.
264. Какой объем 8%-ного раствора гидроксида натрия ($\rho = 1,09 \text{ г/см}^3$) потребуется для поглощения оксида углерода (IV), полученного при полном сгорании 11,2 л пропана? При поглощении CO_2 в растворе образуется кислая соль.
265. Определите молекулярную формулу предельного углеводорода, если известно, что при полном сгорании 0,1 моль его образовалось 13,44 л оксида углерода (IV).
266. Газ, выделившийся при прокаливании смеси 41,0 г безводного ацетата натрия с избытком гидроксида натрия, прореагировал при освещении с хлором с образованием тетрахлорметана (выход 50%). Рассчитайте, какая масса CCl_4 при этом получилась.
267. 11,2 л пропана сожгли в избытке кислорода. Рассчитайте объем полученного оксида углерода (IV).
268. Какой объем (в литрах) метана требуется для получения 19,4 мл тетрахлорметана ($\rho = 1,595 \text{ г/см}^3$), если

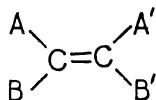
- выход последнего составляет 70% от теоретического?
- 269.** Сколько изомерных дихлорпропанов можно получить при радикальном хлорировании пропана? Назовите их по систематической номенклатуре.
- 270.** Какие монобромпроизводные могут быть получены при бромировании (при освещении) предельного углеводорода с нормальной цепью углеродных атомов, если известно, что плотность паров этого углеводорода по воздуху равна 2? Приведите механизм процесса. Назовите полученные бромпроизводные по систематической номенклатуре.
- 271.** Некоторый объем метана имеет массу 5 г. Рассчитайте массу такого же объема пропана.
- 272.** При сжигании 3 кг антрацита образовалось 5300 л оксида углерода (IV). Рассчитайте массовую долю (%) углерода в антраците.
- 273.** Установите молекулярную формулу и напишите структурную формулу предельного углеводорода, содержащего только первичные и третичные атомы углерода, если известно, что 1,12 л его имеют массу 2,9 г.
- 274.** Оксид углерода (IV), образующийся при полном сгорании 0,1 моль предельного углеводорода, при пропускании в избыток известковой воды дает 60 г осадка. Определите молекулярную формулу и строение предельного углеводорода, если известно, что он содержит один четвертичный атом углерода.
- 275.** При сжигании некоторой массы вещества, в состав которого входит углерод, водород и хлор, было получено 0,44 г оксида углерода (IV) и 0,18 г воды. Из хлора, содержащегося в пробе равной массы, после превращения его в ряде реакций в хлорид-анион было получено 2,86 г хлорида серебра. Определите формулу исходного вещества и напишите, как оно может быть получено.
- 276.** Природный газ одного из месторождений содержит 90% метана, 5% этана, 3% оксида углерода (IV) и 2% азота (по объему). Какой объем воздуха необходим для полного сжигания 1 м³ этого газа? Содержание кислорода в воздухе принять равным 20%.
- 277.** Хлорпроизводное предельного углеводорода имеет молекулярную массу 237 и содержит 89,9% хлора. Найдите молекулярную формулу хлорпроизводного.
- 278.** Для нейтрализации хлороводорода, образовавшегося при радикальном хлорировании газообразного предельного углеводорода объемом 112 см³, потребовалось 7,26 мл 10%-ного гидроксида натрия ($\rho = 1,1$ г/см³). Рассчитайте, сколько атомов водорода в исходном углеводороде заместились хлором.
- 279.** Какой объем (в миллилитрах) 10%-ного раствора гид-

роксида натрия ($\rho = 1,1 \text{ г/см}^3$) потребуется для поглощения оксида углерода (IV), образующегося при полном сгорании 11,4 г изоктана (2,2,4-триметилпентана)? (В растворе получается кислая соль.)

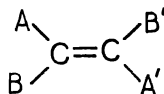
280. При пропуске 11,2 л смеси метана, оксида углерода (IV) и оксида углерода (II) через раствор гидроксида натрия, взятый в избытке, объем исходной смеси уменьшился на 4,48 л. Для полного сгорания оставшейся смеси потребовалось 6,72 л кислорода. Определите состав исходной смеси (в процентах по объему).
281. При сплавлении 28,8 г натриевой соли предельной монокарбоновой кислоты с избытком гидроксида натрия выделилось 4,704 л газа, что составляет 70% от теоретического выхода. Определите, какой выделился газ.
282. Какой углеводород содержит больший процент водорода: изопентан или *n*-декан?

§ 2. ЭТИЛЕНОВЫЕ УГЛЕВОДОРОДЫ (АЛКЕНЫ)

Для этиленовых углеводородов характерно наличие двойной связи $\text{C}=\text{C}$. Поэтому наряду с изомерией, связанной со строением углеродной цепи, в ряду олефинов возможна еще изомерия, связанная с положением двойной связи в цепи, а также пространственная, так называемая геометрическая или *цис-транс*-изомерия, обусловленная различным положением заместителей относительно плоскости π -связи:



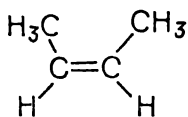
цис-изомер



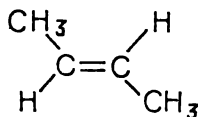
транс-изомер

A, A', B, B' — алкильные заместители или атом водорода.

Основное условие возникновения *цис-транс*-изомерии: $\text{A}' \neq \text{B}'$, $\text{A} \neq \text{B}$, но возможно, что $\text{A} = \text{A}'$ и $\text{B} = \text{B}'$. Например, *цис*- и *транс*-бутен-2:



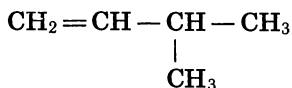
цис-изомер



транс-изомер

Названия олефинов по систематической номенклатуре образуются из названий аналогично построенных парафинов заменой суффикса *-ан* на *-ен*, причем цифрой показывают

положение двойной связи (атом, с которого начинается двойная связь). За главную цепь принимают самую длинную цепь с двойной связью. Нумерация углеродных атомов начинается с того конца цепи, к которому π -связь ближе, например 3-метил-бутен-1:

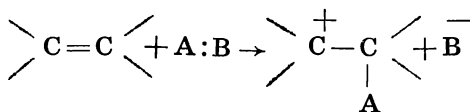


Непредельные углеводородные радикалы называют добавлением к корню суффикса *-енил-*: $\text{CH}_2=\text{CH}-$ этенил- (винил-); $\text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}-$ 1-пропенил-; $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2-$ 2-пропенил- (аллил-).

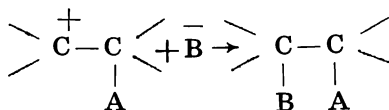
Главным структурным элементом, определяющим реакционную способность олефинов, является двойная связь, представляющая собой сочетание σ -связи, образованной гибридованными орбиталями, и π -связи, образованной негибридованными p -орбиталями.

Поскольку σ -связь более прочна, чем π -связь, эта последняя легко рвется и переходит в σ -связь путем присоединения по месту двойной связи двух атомов или атомных групп. Для этиленовых углеводородов характерны реакции электрофильного присоединения, которые протекают через две основные стадии:

а) присоединение положительно заряженной частицы с промежуточным образованием катиона, имеющего положительный заряд на атоме углерода (карбокатион):



б) стабилизация карбокатиона путем присоединения аниона с образованием нейтральной молекулы:



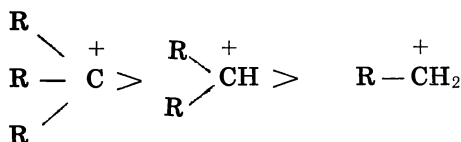
По такому механизму протекает присоединение молекул галогена, воды, галогеноводородов.

В случае несимметричных этиленовых углеводородов присоединение положительно заряженной частицы на первой стадии протекает таким образом, что промежуточно образуется наиболее устойчивый карбокатион, т. е. карбокатион, в котором положительный заряд наиболее сильно рассредоточен по всей частице. Например:



Реакция протекает по правилу Марковникова, поскольку из двух возможных карбокатионов $\text{CH}_3-\overset{+}{\text{CH}}-\text{CH}_3$ (1) и $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\overset{+}{\text{CH}_2}$ (2) первый более стабилен (вторичный карбокатион), чем второй, за счет большего погашения положительного заряда на углеродном атоме двумя CH_3 -группами в результате их индуктивного эффекта.

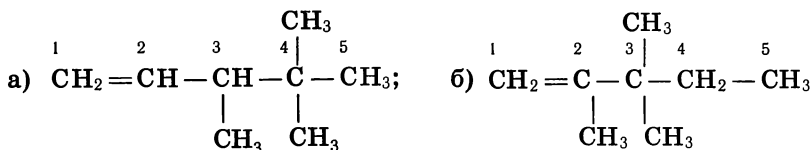
В общем стабильность карбокатионов уменьшается в ряду: третичные > вторичные > первичные



ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ

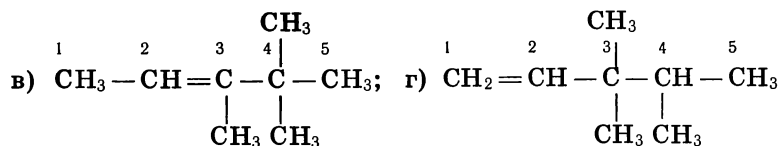
Задача 1. Напишите структурные формулы изомерных этиленовых углеводородов состава C_8H_{16} , которые имеют один третичный и один четвертичный атом углерода и пять углеродных атомов в главной цепи. Назовите их по систематической номенклатуре.

Решение. Алкен состава C_8H_{16} имеет два изомера за счет изомерии положения двойной связи:



3,4,4-триметилпентен-1

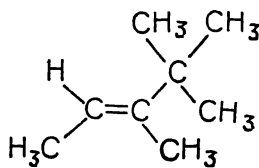
2,3,3-триметилпентен-1



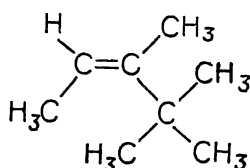
3,4,4-триметилпентен-2

3,3,4-триметилпентен-1

Три из четырех изомерных алкенов не дают *цис-транс*-изомеров — это алкены (а), (б), (г), так как они имеют два одинаковых заместителя (водорода) у одного из атомов, образующих двойную связь, а именно у С1. Для алкена (в) возможно существование двух *цис-транс*-изомеров:



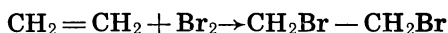
цис-изомер



транс-изомер

Задача 2. Рассчитайте выход продукта реакции (в процентах от теоретического), если при взаимодействии 5,6 л этилена с бромом получено 42,3 г 1,2-дибромэтана.

Решение. Напишем уравнение реакции:



Объему 5,6 л этилена (н. у.) соответствует 0,25 моля этилена. Следовательно, теоретически (по уравнению реакции) должно было бы получиться также 0,25 моль 1,2-дибромэтана, т. е. $(188 \cdot 0,25)$ 47 г [M (дибромэтана) = 188 г/моль]. А фактически образовалось 42,3 г дибромэтана. Значит, реакция присоединения протекала не на 100% (теоретический выход), а с выходом:

$$\frac{42,3 \text{ г} \cdot 100\%}{47 \text{ г}} = 90\%$$

О т в е т: выход дибромэтана — 90% (от теоретического).

ЗАДАЧИ

283. Напишите структурные формулы следующих этиленовых углеводородов: а) 2-метилбутен-1; б) 2, 3-диметилбутен-2; в) 3-метил-4-этилгексен-3; г) 2, 3, 4, 4-тетраметилпентен-2.
284. Напишите структурные формулы всех изомерных алкенов, содержащих четыре углеродных атома в молекуле, и назовите их по систематической номенклатуре.
285. Напишите структурные формулы всех изомерных одновалентных радикалов состава C_3H_5 — .
286. Сколько имеется изомерных алкенов состава C_5H_{10} ? Напишите структурные формулы этих изомеров и назовите их по систематической номенклатуре.
287. Напишите структурные формулы всех алкенов состава C_8H_{16} , образующих при каталитическом гидрировании изооктан (2, 2, 4-триметилпентан), и назовите их по систематической номенклатуре.
288. Напишите структурные формулы всех возможных изомерных углеводородов состава C_4H_8 .
289. Напишите молекулярные формулы этиленовых углеводородов, содержащих шесть, восемь и десять атомов углерода в молекуле.
290. Напишите структурную формулу алкена состава C_6H_{12} , имеющего один четвертичный атом углерода, и назовите алкен по систематической номенклатуре.
291. Рассчитайте элементный состав (в процентах по массе) изомерных этиленовых углеводородов, плотность паров которых по водороду равна 35.
292. Рассчитайте массу (в граммах) 6 л этилена.

293. Напишите структурные формулы этиленовых углеводов, которые могут образоваться при каталитическом дегидрировании изопентана (2-метилбутана).
294. При дегидратации 12,5 мл ($\rho = 0,8 \text{ г/см}^3$) этанола получено 3 л этилена. Рассчитайте выход этилена (в процентах от теоретического).
295. Напишите уравнения реакций синтеза пропилена из следующих соединений: а) пропана; б) 2-бромпропана; в) 1,2-дибромпропана.
296. С помощью каких химических реакций можно очистить пропан от примеси пропилена?
297. Какие продукты реакции получатся при действии на пропилен следующих реагентов: а) хлора; б) хлороводорода; в) водорода в присутствии катализатора; г) разбавленного водного раствора перманганата калия?
298. Какую массу брома может присоединить 0,25 моль смеси изомерных бутиленов? Выход считать количественным.
299. Как с помощью химических реакций определить, какой газ находится в цилиндре — пропан или пропилен?
300. Гексен-1 обработали избытком раствора брома в тетрахлорметане CCl_4 . Как можно качественно установить, происходит ли при этом химическая реакция и если происходит, то какая?
301. Этиленовый углеводород массой 7 г присоединяет 2,24 л бромоводорода. Определите молярную массу и строение этого углеводорода, если известно, что он является *цис*-изомером.
302. Определите молярную массу и напишите структурные формулы всех возможных изомеров этиленового углеводорода, если известно, что 1,12 г его могут обесцветить 8 г 40%-ного раствора брома в хлороформе.
303. 4,48 л смеси предельного и этиленового углеводов, содержащих одинаковое количество атомов углерода, реагирует с 1,12 л бромоводорода. Определите состав смеси (в процентах по объему) и напишите структурные формулы углеводородов, если известно, что продукт взаимодействия этиленового углеводорода с хлором в 56,5 раза тяжелее водорода.
304. При взаимодействии этиленового углеводорода с бромом образовалось соединение, плотность паров которого по кислороду равна 6,75. Напишите структурные формулы возможных изомеров исходного углеводорода и назовите их по систематической номенклатуре.
305. В цилиндре находится газ (молекулярная формула его C_4H_8), который может быть или бутиленом, или циклобутаном. Как химически можно установить строение газа?

306. При окислении 11,2 л этилена водным раствором перманганата калия получено вещество с молекулярной формулой $C_2H_6O_2$. Какое образовалось вещество и какова его масса, если выход продукта реакции составляет 80% от теоретического?
307. Смесь 10 л углеводородов (этилена и пропана) и 10 л водорода пропустили над катализатором. При этом общий объем уменьшился до 16 л. Определите содержание этилена и пропана в исходной смеси (в процентах по объему).
308. Рассчитайте, какой объем водорода потребуется для полного каталитического гидрирования 16,8 л смеси этиленового углеводорода (имеющего *цис-транс*-изомеры) и дивинила (бутадиена-1,3). Известно, что этиленовый углеводород, содержащийся в этой смеси, в результате присоединения 5,6 л хлора образует 31,75 г дихлорида. Определите строение исходного этиленового углеводорода и образовавшегося дихлорида.
309. При гидрировании в присутствии катализатора смеси бутена и бутана образовалось 22,4 л индивидуального углеводорода C_4H_{10} . Установите состав исходной смеси газов (в процентах по объему) и их строение, если известно, что был взят бутен, имеющий *цис-транс*-изомеры, при гидратации которого образуется 37 г спирта, что составляет 74% от теоретического выхода. Какой это спирт?
310. Какой объем водорода потребуется для каталитического гидрирования 20 г смеси, содержащей 42% гексена и 58% пентена (по массе).
311. Смесь этиленового углеводорода и водорода общим объемом 13,44 л пропустили при 200 °С над Pt-катализатором. При этом объем смеси уменьшился до 10,08 л и реакция прошла с выходом 75% от теоретического. При пропускании исходной смеси через склянку с бромной водой весь углеводород прореагировал и масса склянки увеличилась на 8,4 г. Определите состав исходной смеси (в процентах по объему) и строение исходного алкена.
312. Пропанол пропустили при 400 °С над оксидом алюминия. Образовавшийся при этом этиленовый углеводород (выход 80% от теоретического) пропустили через склянку с бромной водой. Масса склянки после этого увеличилась на 4,2 г, и весь углеводород прореагировал. Какая масса пропанола была взята?
313. Какой объем 96%-ного этилового спирта ($\rho = 0,8$ г/см³) потребуется для получения бутадиена-1,3 (по способу С. В. Лебедева), если углеводород образуется с выходом 75% от теоретического? Известно, что выделяющегося

при этом водорода достаточно для гидрирования 5,6 л пропилена.

314. Рассчитайте, какую массу (в килограммах) дивинила (бутадиена-1,3) можно получить по способу С. В. Лебедева из 200 л 96%-ного этилового спирта ($\rho = 0,8 \text{ г/см}^3$), если реакция протекает с выходом 75%.
315. Через 1 кг бромной воды (концентрация брома равна 3,2%) пропустили смесь предельного и этиленового углеводородов общим объемом 11,2 л. Раствор брома при этом полностью обесцветился (весь алкен прореагировал), и на дне сосуда образовалась тяжелая маслянистая жидкость, которая после отделения от нее воды занимала объем 20,95 мл ($\rho = 1,93 \text{ г/см}^3$). Не прореагировавшая с бромом часть исходной смеси углеводородов была сожжена, и для связывания образовавшегося при этом газа потребовалось 300 мл 3М раствора гидроксида калия (образовалась кислая соль). Каков качественный и количественный состав исходной смеси углеводородов? (Растворимость газов в воде пренебречь.)
316. Четыре ненасыщенных углеводорода имеют одинаковый состав (по массе): 85,7% углерода и 14,3% водорода. Установите формулы этих углеводородов, если плотности их паров по воздуху соответственно равны: 0,97; 1,45; 1,93; 2,41.
317. Газ, образовавшийся при нагревании 28,75 мл предельного одноатомного спирта ($\rho = 0,8 \text{ г/см}^3$) с концентрированной серной кислотой, присоединяет 8,96 л водорода в присутствии катализатора. Определите строение исходного спирта, если выход углеводорода составляет 80% от теоретического.
318. При взаимодействии этиленового углеводорода с бромом образовалось дибромпроизводное, плотность паров которого по кислороду равна 6,75. Определите строение исходного этиленового углеводорода и напишите структурные формулы всех его изомеров.
319. На полное гидрирование 2,8 г этиленового углеводорода в присутствии катализатора потребовалось 896 мл водорода. Определите молярную массу и строение исходного углеводорода. Напишите структурную формулу продукта гидрирования, если известно, что он содержит один третичный атом углерода.

§ 3. АЦЕТИЛЕНОВЫЕ УГЛЕВОДОРОДЫ (АЛКИНЫ)

Для ацетиленовых углеводородов характерно наличие тройной связи.

Изомерия в ряду ацетиленовых углеводородов начина-

ется с гомолога C_4H_6 . Однако изомеры C_4H_6 могут различаться только положением тройной связи, но не строением углеродного скелета: $CH_3-CH_2-C\equiv CH$ — бутин-1 и $CH_3-C\equiv C-CH_3$ — бутин-2. Изомерия скелета начинается только с пятого члена ряда ацетиленовых углеводородов: $CH_3-CH_2-CH_2-C\equiv CH$ — пентин-1; $CH_3-CH_2-C\equiv C-CH_3$ пентин-2; $CH_3-\underset{\substack{| \\ CH_3}}{CH}-C\equiv CH$

3-метилбутин-1.

Простейшие ацетиленовые углеводороды часто называют, как алкилзамещенные ацетилены ($\text{CH}_3\text{C}\equiv\text{CH}$ — пропин, или метилацетилен; $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{C}\equiv\text{CH}$ — бутин-1, или этилацетилен; $\text{CH}_3-\text{C}\equiv\text{C}-\text{CH}_3$ — бутин-2, или диметилацетилен).

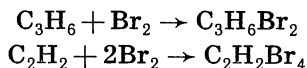
ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ

Решение. Общее количество вещества смеси углеводов составляет ($\nu = V/V_m = 0,448:22,4$) 0,02 моль. Обозначим число молей этана — x , пропилена — y , ацетилена — z . Тогда:

Найдем массу и затем число молей брома, содержащегося в 40 мл 5%-ного раствора его в CCl_4

$$\nu(\text{Br}_2) = \frac{m(\text{Br}_2)}{M(\text{Br}_2)} = \frac{3,2 \text{ г}}{160 \text{ г/моль}} = 0,02 \text{ моль}$$

С бромом реагируют только пропилен и ацетилен:



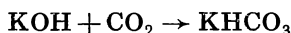
Из уравнений этих реакций следует:

$$y + 2z = 0,02 \text{ моль} \quad (2)$$

Определим, сколько молей гидроксида калия израсходовано:

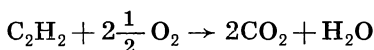
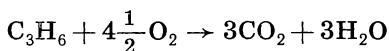
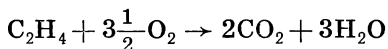
$$\nu(\text{кон}) = \frac{m(\text{кон})}{M(\text{кон})} = \frac{V \cdot \rho \cdot \omega\%}{M(\text{кон}) \cdot 100} = \frac{5 \text{ см}^3 \cdot 1,4 \text{ г/см}^3 \cdot 40\%}{56 \text{ г/моль} \cdot 100\%} = 0,05 \text{ моль}$$

Так как объем раствора гидроксида калия минимален, то поглощение идет по реакции:



Значит, при сгорании смеси углеводородов образовалось 0,05 моля оксида углерода (IV).

Реакции сгорания углеводородов протекают в соответствии с уравнениями реакций:



Отсюда следует (с учетом коэффициентов в этих уравнениях):

$$2x + 3y + 2z = 0,05 \text{ моль} \quad (3)$$

Решаем систему уравнений (1), (2), (3), получаем:

$$\begin{aligned}x &= 0,005 \text{ моль}; y = 0,01 \text{ моль}; z = 0,005 \text{ моль, тогда } x : y : z = \\ &= 1 : 2 : 1 \text{ (или } 25\% : 50\% : 25\%).\end{aligned}$$

О т в е т: состав исходной смеси углеводородов (в процентах по объему): 25% этилена, 50% пропилена, 25% ацетилена.

ЗАДАЧИ

320. Напишите структурные формулы следующих ацетиленовых углеводородов: а) 2-метилгексин-3; б) 3,4-диметилпентин-1; в) бутин-2; г) 4-метилпентин-2; д) 3-метилбутин-1.

321. Напишите структурные формулы всех изомерных ацетиленовых углеводородов с молекулярной формулой C_5H_8 и назовите их по систематической номенклатуре.

322. Напишите структурные формулы всех ацетиленовых углеводородов, которые при каталитическом гидрировании образуют 2-метилпентан. Назовите их по систематической номенклатуре.

323. Напишите структурные формулы изомерных ацетиленовых углеводородов состава C_7H_{12} , главная цепь которых состоит из пяти углеродных атомов, и назовите их.
324. Приведите структурные формулы всех изомерных ацетиленовых углеводородов, плотность паров которых по водороду составляет 41. Назовите их по систематической номенклатуре.
325. Какие из приведенных углеводородов являются изомерами и какие гомологами? Есть ли среди них идентичные соединения: а) гексин-3; б) метилпропилацетилен; в) диэтилацетилен; г) дипропилацетилен; д) гексин-2; е) бутилацетилен?
326. Напишите молекулярные формулы ацетиленовых углеводородов, содержащих четыре, шесть, девять атомов углерода в молекуле.
327. Напишите структурные формулы изомерных ацетиленовых углеводородов состава C_7H_{12} , имеющих один четвертичный атом углерода в молекуле, и назовите их по систематической номенклатуре.
328. Рассчитайте элементный состав (в процентах по массе) изомерных ацетиленовых углеводородов, плотность паров которых по кислороду равна 1,69. Напишите структурные формулы возможных изомеров.
329. Рассчитайте массы 10 л пентина-2, 10 л бутина-1 и 10 л гексина-3.
330. Получите: ацетилен из этилена; бутин-2 из бутена-2. Напишите уравнения реакций.
331. Рассчитайте массу винилбромиды, которая потребуется, чтобы действием на него спиртового раствора щелочи получить 4,48 л ацетилену.
332. Из 1 кг технического карбида кальция при полном разложении его водой было получено 300 л ацетилену. Какова массовая доля (%) примесей, содержащихся в этом образце карбида кальция?
333. Какая масса технического 80%-ного карбида кальция потребуется для получения из него двухстадийным синтезом 12,5 г винилхлорида, если выход на каждой стадии синтеза составляет 80% от теоретического?
334. К 1,12 л бесцветного газа, полученного при действии воды на карбид кальция, присоединили хлороводород, образовавшийся при действии концентрированной серной кислоты на 2,925 г поваренной соли. Продукт присоединения хлороводорода полимеризовался с образованием 2,2 г полимера. Какой полимер был получен? Каков выход (в процентах от теоретического) при превращении мономера в полимер? Какая масса карбида кальция потребовалась?

- 335.** Как химическим путем выделить бутин-2 из смеси его с бутином-1?
- 336.** В чем сходство и в чем различие химического поведения этиленовых и ацетиленовых углеводородов?
- 337.** Как определить, какой из двух изомерных газообразных углеводородов является ацетиленовым, а какой диеновым — на примере бутина-1 и бутадиена-1,3?
- 338.** Имеется газообразный углеводород, который может быть либо пропаном, либо пропиленом, либо пропином. Как определить химическим путем, какой это газ?
- 339.** С помощью каких реактивов можно осуществить приведенный ряд превращений:
- а) $\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—CHBr—CH}_3 \rightarrow \text{CH}_3\text{—CH=CH—CH}_3 \rightarrow \text{CH}_3\text{—CHBr—CHBr—CH}_3 \rightarrow \text{CH}_3\text{—C}\equiv\text{C—CH}_3$
- 340.** Напишите формулы промежуточных и конечных соединений в приведенной схеме:
- $$\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—Br} \xrightarrow{\text{KOH/спирт}} \text{A} \xrightarrow{\text{Br}_2} \text{B} \xrightarrow{\text{KOH/спирт}} \text{C} \xrightarrow{[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2] \text{OH}} \text{D}$$
- 341.** Составьте уравнение полного сгорания ацетиленового углеводорода, являющегося вторым членом гомологического ряда ацетиленовых углеводородов, и рассчитайте, сколько литров воздуха потребуется для сгорания 5,6 л этого углеводорода.
- 342.** Получите, используя только неорганические реагенты: а) из карбида кальция этилбромид; б) из *n*-пропилбромида 1,1,2,2-тетрабромпропан. Напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания.
- 343.** Исходя из карбоната кальция и других неорганических реактивов, получите симметричный тетрабромэтан. Напишите уравнения протекающих реакций.
- 344.** Напишите уравнения реакций метилацетилена со следующими веществами: а) избытком водорода (в присутствии катализатора); б) избытком брома; в) бромоводородом (1 и 2 моль); г) аммиачным раствором оксида серебра.
- 345.** При неполном каталитическом гидрировании пентина-1 образовалась смесь углеводородов, состоящая из пентана, пентена-1 и непрореагировавшего пентина-1. С помощью каких химических реакций можно выделить из полученной смеси каждый углеводород? Напишите уравнения протекающих реакций.
- 346.** Ацетиленовый углеводород, содержащий пять углеродных атомов в главной цепи, присоединяет 80 г брома. При этом образуется 104 г продукта реакции. Определите строение ацетиленового углеводорода, если известно, что он не вступает в реакцию с аммиачным раствором оксида серебра.

347. Определите строение непредельного углеводорода с открытой цепью углеродных атомов, на полное каталитическое гидрирование 1,62 г которого потребовалось 1,344 л водорода. Исходный углеводород имеет плотность по водороду 27 и широко используется в промышленности для производства каучука.
348. 2,8 л смеси алкана, алкина и алкена, содержащих одинаковое число атомов углерода, могут прореагировать с 17,4 г оксида серебра (аммиачного раствора) или присоединить 28 г брома. Определите качественный и количественный (в процентах по объему) состав исходной смеси углеводородов.
349. Смесь двух газообразных — этиленового и ацетиленового — углеводородов (общим объемом 7,84 л), содержащих одинаковое число атомов углерода, может присоединить 80 г брома. Образовавшаяся при этом смесь продуктов присоединения брома имеет массу 94,4 г. Определите строение и состав (в процентах по массе) исходной смеси углеводородов.
350. Бутан объемом 3,36 л подвергли каталитическому дегидрированию и получили при этом 10,08 л смеси газов. Определите состав (в процентах по объему) образовавшейся смеси газов и установите строение продукта дегидрирования бутана, если известно, что он не дает осадка с аммиачным раствором оксида серебра.
351. При пропускании смеси этана и ацетилена через склянку с бромной водой масса склянки увеличилась на 1,3 г. При полном сгорании исходной смеси углеводородов выделилось 14 л оксида углерода (IV). Определите состав исходной смеси углеводородов (в процентах по объему).
352. Рассчитайте, во сколько раз уменьшится объем смеси ацетилена с этиленом после пропускания ее через аммиачный раствор оксида серебра. Известно, что 1,12 л исходной смеси может легко прореагировать в темноте с 3,82 мл брома ($\rho = 3,14 \text{ г/см}^3$).
353. Какую массу брома может присоединить смесь этилена, ацетилена и метана (общий объем 5 л), содержащая 44,8% этилена и 32,8% метана (по объему)?
354. Определите строение углеводорода с открытой цепью углеродных атомов, если известно, что при полном сжигании 0,1 моль его образуется 5,4 мл воды и выделяется 8,96 л оксида углерода (IV). При взаимодействии этого углеводорода с эквимолекулярным количеством хлора образуется преимущественно дихлоралкен симметричного строения, у которого атомы хлора находятся на концах цепи.
355. Получите бутин-2 из бутанола-1. Напишите уравнения протекающих реакций.

- 356.** Какой ацетиленовый углеводород может быть получен из 3,4-диметилпентена-1?
- 357.** Какой углеводород получится, если на 3,3-диметилбутен-1 подействовать бромом, а затем избытком спиртового раствора щелочи при нагревании?
- 358.** Какой из углеводов, содержащих пять углеродных атомов, имеет большее число структурных изомеров: C_5H_{12} , C_5H_{10} , C_5H_8 ?

§ 4. АРОМАТИЧЕСКИЕ УГЛЕВОДОРОДЫ (АРЕНЫ)

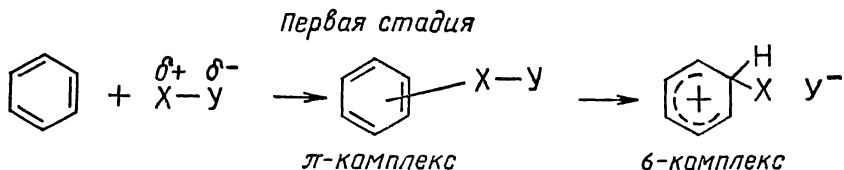
К классу ароматических углеводородов относят бензол и его гомологи. Существует только одно соединение с молекулярной формулой C_6H_6 — бензол, а также только один его ближайший гомолог с формулой C_7H_8 — толуол. Далее для каждого члена гомологического ряда может существовать уже несколько изомеров.

Изомерия связана как с величиной и числом, так и с положением заместителя. Два заместителя могут занимать в ядре три различных положения: *орто*-(1,2-), *мета*-(1,3-), *пара*-(1,4-). Кроме тривиальных названий (толуол, ксилол), для ароматических углеводородов существует и систематическая номенклатура. По этой номенклатуре все соединения рассматриваются как замещенные производные бензола и цифрами показывается место того или иного заместителя.

Названия некоторых одновалентных радикалов ароматических углеводородов (арилов): C_6H_5 — фенил, $CH_3-C_6H_4$ — *о*-, *т*-, *п*-толил, $C_6H_5-CH_2$ — бензил. Радикал с двумя свободными валентностями $C_6H_4<$ носит название фенилен (*о*-, *т*-, *п*-фенилен).

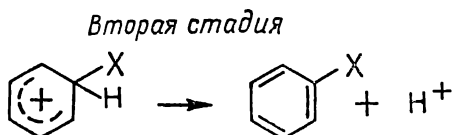
Сопряженная система π -связей в бензольном ядре обладает особой устойчивостью, например к действию окислителей.

Обладая подвижной шестеркой π -электронов, ароматическое ядро является удобным объектом для атаки электрофильными реагентами. Поэтому для ароматических углеводородов характерны реакции электрофильного замещения, механизм которых можно представить следующим образом:



σ -Комплекс — это нестойкий катион, лишенный ароматической структуры, с четырьмя π -электронами, делокализованными в сфере воздействия ядер пяти углеродных атомов. Шестой углеродный атом при образовании σ -комплекса переходит из состояния sp^2 в состояние sp^3 .

При ароматическом замещении лабильный (неустойчивый) σ -комплекс превращается в стабильный замещенный бензол с потерей протона.

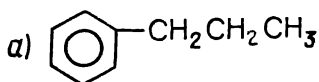


Реакции галогенирования и нитрования протекают по механизму электрофильного замещения.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ

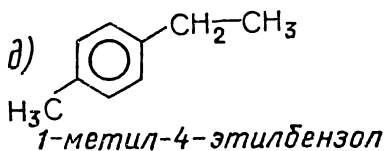
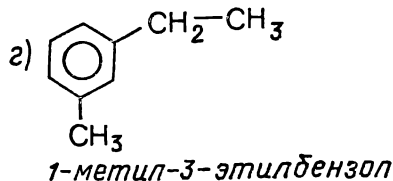
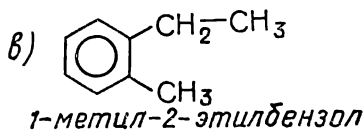
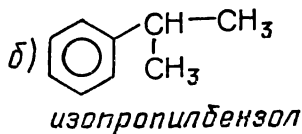
Задача 1. Напишите структурные формулы всех изомерных ароматических углеводородов состава C_9H_{12} .

Решение. Кроме атомов углерода ароматического кольца (C_6), в молекуле имеется еще три атома углерода.

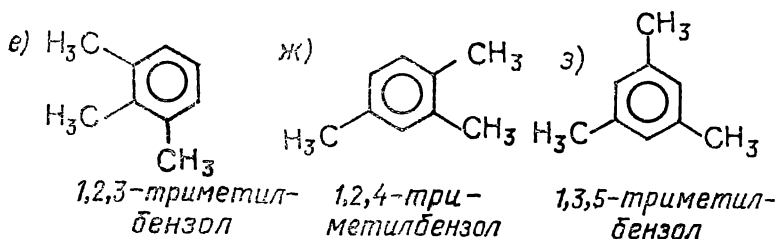


n-пропилбензол

Укоротим боковую цепь на один атом углерода и произведем все возможные перестановки CH_3 -группы — начала в боковой цепи, а затем в бензольном кольце:



Укоротим боковую цепь еще на один атом углерода и сделаем все возможные перестановки двух CH_3 -групп в бензольном кольце:



При правильном составлении формул изомеров не должно быть одинаковых соединений по систематической номенклатуре.

ЗАДАЧИ

359. Напишите структурные формулы всех изомерных ароматических углеводородов состава C_8H_{10} и назовите их по систематической номенклатуре.
360. Напишите структурные формулы углеводородов: а) изопропилбензол; б) 1,2,3-триметилбензол; в) 1-метил-4-этилбензол; г) *симм*-триметилбензол; д) 2-этил-4-изопропилтолуол.
361. Напишите структурные формулы всех изомерных диметилбензолов (ксилолов) и назовите их.
362. Напишите структурные формулы всех изомерных хлортолуолов.
363. Напишите структурные формулы следующих соединений: *о*-дибромбензол; 1,3-динитробензол; *п*-дихлорбензол; 3-хлортолуол.
364. Объясните, почему бензол не обесцвечивает бромную воду и водный раствор перманганата калия.
365. Имеется смесь бензола и стирола (фенилэтилена). Как из этой смеси выделить бензол?
366. Напишите уравнения реакций трех способов синтеза бензола.
367. Ароматический углеводород состава C_8H_{10} при окислении раствором перманганата калия при нагревании и после подкисления реакционной смеси превратился в соединение состава $C_7H_6O_2$. Определите строение исходного углеводорода и продукта реакции.
368. Какие продукты реакции получатся при окислении раствором перманганата калия: а) этилбензола; б) *п*-ксилола?
369. При гидрировании 7,8 г бензола до циклогексана при нагревании в присутствии катализатора поглотилось 3,36 л водорода. Определите выход циклогексана в процентах от теоретического.
370. Рассчитайте, какой объем хлора потребуется для получе-

- ния 450 г хлорбензола из бензола. Укажите условия протекания реакции.
371. Рассчитайте, какой объем 10%-ного раствора гидроксида натрия ($\rho = 1,1 \text{ г/см}^3$) потребуется для нейтрализации газа, выделившегося при получении бромбензола из 31,2 г бензола. В каких условиях протекает последняя реакция?
372. Какое соединение образуется при взаимодействии 39 г бензола с хлором при освещении, если выход продукта реакции составляет 50% от теоретического? Определите его массу.
373. Какая масса бромбензола получится при взаимодействии 156 г бензола со 110 мл брома ($\rho = 3,1 \text{ г/см}^3$) в присутствии FeBr_3 ? Какое из исходных веществ было взято в избытке и какова масса избытка? Выход бромбензола количественный.
374. Какая масса *m*-динитробензола образуется при нитровании 39 г бензола нитрующей смесью (смесь концентрированной азотной и концентрированной серной кислоты), если выход продукта реакции составляет 80% от теоретического?
375. Какая масса оксида марганца (IV) потребуется для получения хлора, необходимого для превращения 9,75 мл ($\rho = 0,8 \text{ г/см}^3$) бензола в гексахлоран?
376. Смесью бензола, циклогексена и циклогексана при обработке бромной водой присоединяет 16 г брома; при каталитическом дегидрировании исходной смеси образуется 39 г бензола и водород, объем которого в 2 раза меньше объема водорода, необходимого для полного каталитического гидрирования исходной смеси углеводородов. Определите состав исходной смеси (в процентах по объему).
377. При окислении смеси бензола и толуола раствором перманганата калия при нагревании получено после подкисления 8,54 г одноосновной органической кислоты. При взаимодействии этой кислоты с избытком водного раствора гидрокарбоната натрия выделился газ, объем которого в 19 раз меньше объема такого же газа, полученного при сгорании исходной смеси углеводородов. Определите состав исходной смеси углеводородов (в процентах по массе).
378. Газ, выделившийся при получении бромбензола из 22,17 мл бензола ($\rho = 0,88 \text{ г/см}^3$), ввели в реакцию с 4,48 л изобутилена. Какие соединения образовались и какова их масса, если учесть, что выход бромбензола составлял 80% от теоретического, а реакция с изобутиленом идет с количественным выходом?
379. При каталитическом дегидрировании смеси бензола, циклогексана и циклогексена получено 23,4 г бензола и выделилось 11,2 л водорода. Известно, что исходная смесь

может присоединить 16 г брома. Определите состав исходной смеси (в процентах по массе).

- 380.** Смесь циклогексена и циклогексана может обесцветить 320 г 10%-ного раствора брома в CCl_4 . Определите состав смеси углеводородов (в процентах по массе), если известно, что при полном дегидрировании этой смеси с образованием бензола выделяется водород в количестве, достаточном для исчерпывающего гидрирования 11,2 л дивинила.
- 381.** Ароматический углеводород состава C_8H_8 обесцвечивает бромную воду. При каталитическом гидрировании этого углеводорода образуется этилциклогексан. Установите строение углеводорода. Определите, какой объем водорода потребуется для гидрирования 52 г этого углеводорода, если оно протекает с 80%-ным выходом.
- 382.** При пропускании 33,6 л ацетилен над углем при 650°C образовался углеводород А, который реагирует с бромом (в присутствии FeBr_3). Для полного каталитического гидрирования соединения А (без разрыва C—C связи), протекающего с количественным выходом, требуется 8,4 л водорода. Определите строение и выход (в процентах от теоретического) соединения А.
- 383.** Какое соединение получится при полном каталитическом гидрировании 10,4 г фенилэтилена при 300°C (без разрыва C—C связи), и какова его масса, если выход продукта реакции составляет 80%? Какой объем водорода для этого потребуется?
- 384.** Рассчитайте, какой объем водорода выделится при каталитическом дегидрировании 49 г метилциклогексана, которое протекает с образованием толуола (с выходом 75% от теоретического).
- 385.** Рассчитайте, какая масса *n*-гептана потребуется для получения из него толуола в процессе циклизации и дегидрирования, чтобы выделившегося при этом водорода было достаточно для гидрирования 84 г гексена-1. Какая масса толуола при этом получится?
- 386.** При нагревании 13,8 г ароматического углеводорода А, содержащего одну алкильную группу с перманганатом калия, получено после подкисления вещество В, для нейтрализации которого требуется 30 г 20%-ного раствора гидроксида натрия. Определите строение исходного углеводорода А.

§ 5. СПИРТЫ И ФЕНОЛЫ

Функциональной группой, общей для спиртов и фенолов, является гидроксильная группа ($-\text{OH}$). Атомность спиртов и фенолов определяется числом гидроксильных групп.

В зависимости от того, при каком углеродном атоме — пер-

вичном, вторичном или третичном — находится гидроксильная группа, различают спирты первичные RCH_2OH , вторичные R_2CHOH и третичные R_3COH .

В фенолах гидроксильная группа непосредственно связана с атомом углерода ароматического кольца (например, бензольного).

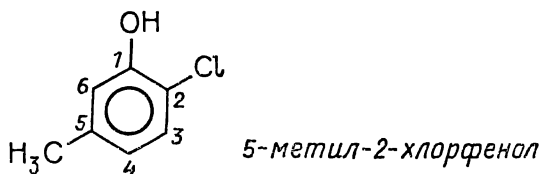
Изомерия предельных одноатомных спиртов определяется строением углеродной цепи и положением гидроксильной группы в цепи.

Изомерия двух-, трехатомных спиртов, кроме того, определяется взаимным расположением гидроксильных групп.

По систематической номенклатуре названия спиртов производят, добавляя суффикс *-ол* к названию углеводорода с самой длинной углеродной цепью, включающей гидроксильную группу. Нумерация главной цепи начинается с того края, к которому ближе расположена гидроксильная группа. Положение гидроксильной группы указывается цифрой, обозначающей номер углеродного атома, при котором она находится.

Названия алифатических соединений с двумя и большим числом гидроксильных групп производят, прибавляя суффикс *-диол*, *-триол* и т. д. к названию предельного углеводорода, указывая расположение гидроксильных групп цифрами, обозначающими номер углеродного атома, при котором они находятся.

Названия замещенных фенолов производятся от фенола с указанием названий и положения заместителей в ароматическом кольце. Нумерация в ароматическом ядре начинается с гидроксильной группы, например:



В зависимости от характера реагента реакции спиртов с участием функциональной группы — OH проходят с разрывом либо связи O—H , либо связи C—O , поэтому различают:

1) реакции, при которых разрывается связь O—H : а) взаимодействие спиртов со щелочными металлами и образование алкоксидов; б) с органическими и минеральными кислотами — образование сложных эфиров; в) окисление под действием дихромата или перманганата калия до карбонильных соединений.

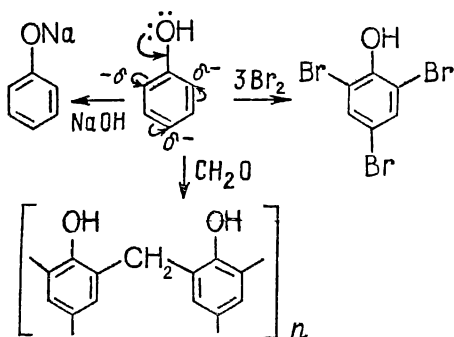
Скорость реакций при которых разрывается связь O—H изменяется в ряду: первичные спирты > вторичные > третичные.

2) реакции, при которых разрывается связь С—О: а) каталитическая дегидратация с образованием алкенов (внутримолекулярная дегидратация) или простых эфиров (межмолекулярная дегидратация); б) замещение ОН-группы галогеном при действии HNaI с образованием алкилгалогенидов.

Скорость реакций, при которых разрывается связь С—О, изменяется в ряду: третичные спирты > вторичные > первичные.

В фенолах вследствие взаимодействия (сопряжения) электронов гидроксильной группы с π -электронной системой бензольного кольца электронная плотность у атома кислорода уменьшается, водород ОН-группы становится более реакционноспособным и легко замещается на металл даже при действии щелочей (в отличие от предельных одноатомных спиртов).

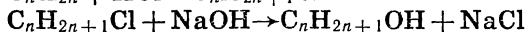
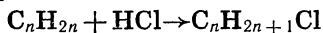
Кроме того, в результате такого взаимного влияния в молекуле фенола увеличивается реакционная способность в *орто*- и *пара*-положениях бензольного кольца в реакциях электрофильного замещения (галогенирования, нитрования и др.):



ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ

Задача. Этиленовый углеводород присоединяет 6,72 л хлороводорода. При гидролизе продукта реакции водным раствором гидроксида натрия при нагревании образуется 22,2 г предельного одноатомного спирта, содержащего три метильные группы. Определите строение исходного углеводорода и полученного спирта. Объем газа измерен при н. у.

Решение.



6,72 л хлороводорода составляют 0,3 моль. Значит, и этиленового углеводорода было взято 0,3 моль, и спирта после гидролиза алкилхлорида образовалось также 0,3 моль,

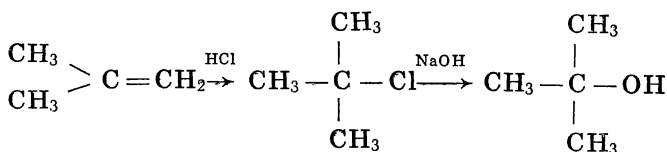
что составляет по условию задачи 22,2 г. Найдем относительную молекулярную массу спирта:

$$M_r(C_nH_{2n+1}OH) = \frac{22,2}{0,3} = 74$$

Отсюда: $C_nH_{2n+1}OH = 74$; $14n = 74 - 17 - 1 = 56$; $n = 4$.

Следовательно, молекулярная формула этиленового углеводорода — C_4H_8 .

Бутиленов состава C_4H_8 может быть три: бутилен-1, бутилен-2 и изобутилен. Так как по условию задачи образовавшийся при гидролизе алкилхлорида спирт содержит три метильные группы, значит, это третичный бутиловый спирт. Он образовался в результате реакций:

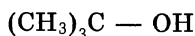
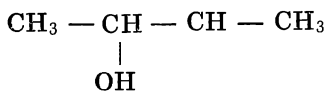
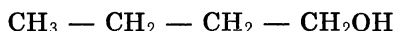


О т в е т: исходный углеводород — изобутилен, полученный спирт — *трет*-бутанол.

ЗАДАЧИ

387. Напишите структурные формулы всех изомерных спиртов состава C_4H_9OH , назовите их по систематической номенклатуре и укажите, какие из них являются первичными, вторичными и третичными.
388. Напишите структурные формулы изомерных спиртов состава $C_5H_{11}OH$, содержащих CH_2-OH группу, и назовите их по систематической номенклатуре.
389. Напишите структурные формулы следующих спиртов: а) 2-метилпентанол-3; б) 3,3-диметилпентанол-2; в) 2,4-диметилгексанол-3; г) 2,3,4-триметилпентанол-3; д) 2,3-диметилбутандиол-1,3; е) 5-метилгександиол-2,4.
390. Напишите структурную формулу простейшего одноатомного спирта, содержащего в молекуле метильную, этильную и изопропильную группу, и назовите его по систематической номенклатуре.
391. Напишите структурные формулы изомерных третичных одноатомных спиртов состава $C_6H_{13}OH$.
392. Напишите структурные формулы для всех изомерных двухатомных спиртов состава $C_4H_8(OH)_2$.
393. Напишите структурную формулу двухатомного спирта состава $C_5H_{10}(OH)_2$, содержащего три метильные группы.
394. Напишите структурные формулы ближайших гомологов этилен-гликоля и назовите по систематической номенклатуре.

395. Напишите структурные формулы ближайших гомологов глицерина и назовите по систематической номенклатуре.
396. Напишите структурные формулы всех изомерных фенолов состава C_7H_7OH и назовите их по систематической номенклатуре.
397. Напишите структурные формулы всех изомерных дибромфенолов и назовите их по систематической номенклатуре.
398. Напишите структурные формулы изомерных соединений ряда бензола состава C_7H_8O . Определите, к какому классу органических соединений принадлежит каждый из изомеров.
399. Учитывая изменение свойств вещества в результате взаимного влияния атомов в молекуле, расположите в ряд по возрастающей кислотности следующие соединения: глицерин, этиловый спирт, этиленгликоль.
400. Объясните, почему температуры кипения спиртов значительно выше, чем температуры кипения соответствующих углеводородов, из которых они могут быть получены.
401. Назовите реакции, позволяющие отличить спирт от фенола.
402. Как различить пропандиол-1,2 и пропандиол-1,3?
403. Расположите по возрастающей кислотности следующие спирты:



В каком из указанных спиртов гидроксильная группа легче замещается на бром при взаимодействии с бромистоводородной кислотой?

404. Что такое абсолютный спирт и денатурированный спирт?
405. Какие вы знаете промышленные способы получения этилового спирта?
406. При промышленном способе получения этанола из этилена (укажите конкретные условия этой реакции) возможно образование побочного продукта состава $C_4H_{10}O$. Определите строение этого соединения.
407. Как из пропанола-1 получить пропанол-2, применяя лишь неорганические реактивы?
408. Как получают метанол в промышленности?
409. Какие природные продукты являются основой для промышленного синтеза глицерина?
410. Какой этиленовый углеводород следует взять и каким объемом, чтобы получить из него с помощью ката-

литической гидратации (под давлением) 28,75 мл одноатомного спирта ($\rho = 0,8 \text{ г/см}^3$), что составляет 0,5 моля? Выход спирта в этой реакции 50% от теоретического.

411. Какое газообразное органическое соединение и в каком объеме нужно пропустить через водный раствор перманганата калия, чтобы получить 15,5 г простейшего двухатомного спирта? Выход продукта реакции 50% от теоретического. Рассчитайте, сколько граммов перманганата калия потребуется.
412. Нагревали 44,5 г жира (считать, что жир является триглицеридом только одной кислоты) с 70 мл 20%-ного раствора гидроксида натрия ($\rho = 1,2 \text{ г/см}^3$). Для нейтрализации избытка гидроксида натрия потребовалось 22,5 мл 36,5%-ной соляной кислоты ($\rho = 1,2 \text{ г/см}^3$). Какие органические соединения и в каких количествах получились?
413. Рассчитайте, какая масса жира потребуется для получения 46 г глицерина, если принять, что жир представляет собой чистый триолеат и что при нагревании его с водой при 220 °С и давлении $25,25 \cdot 10^5 \text{ Па}$ удастся расщепить только 80% жира. Какой объем 10%-ного раствора гидроксида натрия ($\rho = 1,1 \text{ г/см}^3$) потребуется для превращения образующейся кислоты в мыло и сколько мыла при этом получится?
414. В промышленности в определенных условиях ($\sim 1200 \text{ }^\circ\text{C}$, катализатор) водяной газ превращают в метанол. Рассчитайте, сколько кокса, воды и водорода потребуется для получения 32 кг метанола, если выход на каждой стадии составляет 50% от теоретического.
415. Какой объем (в миллилитрах) кислорода потребуется для полного сгорания 28,75 мл этилового спирта ($\rho = 0,8 \text{ г/см}^3$) и сколько граммов осадка получится при пропускании продуктов реакции через известковую воду?
416. При нагревании 23 г одноатомного спирта с концентрированной серной кислотой образовался этиленовый углеводород с выходом 80% от теоретического. Определите строение исходного спирта, если полученный углеводород может присоединить 64 г брома.
417. Из одноатомного спирта неизвестного состава получен этиленовый углеводород симметричного строения массой 14 г, который затем вступает в реакцию с 40 г брома. Определите строение исходного спирта.
418. Какие соединения потребуются для получения 50 г 13,6%-ного раствора этилата натрия в этиловом спирте? Каковы массы исходных соединений?
419. Какой одноатомный спирт был взят, если при взаимо-

действии 16 мл этого спирта ($\rho = 0,8 \text{ г/см}^3$) с натрием выделяется водород объемом, достаточным для гидрирования 4,48 л этиленового углеводорода?

420. При взаимодействии одноатомного спирта неизвестного строения с 48%-ной бромоводородной кислотой ($\rho = 1,5 \text{ г/см}^3$) образовалось 49,2 г (0,4 моль) *n*-алкилбромиды. Определите строение исходного спирта и продукта реакции. Какой объем (в мл) бромоводородной кислоты потребовался, если выход продукта реакции составлял 75% от теоретического?
421. При обработке 0,5 л 5%-ного раствора ($\rho = 0,72 \text{ г/см}^3$) одноатомного спирта неизвестного строения в диэтиловом эфире металлическим натрием выделилось 3,36 л газа. Предложите возможные структурные формулы спирта.
422. При нагревании 57,5 мл этилового спирта ($\rho = 0,8 \text{ г/см}^3$) с бромидом калия и концентрированной серной кислотой образовалось 87,2 г алкилбромиды. Каков выход продукта реакции (в процентах от теоретического)?
423. Определите молярную массу и строение кислородсодержащего соединения, если известно, что при взаимодействии 7,4 г этого вещества с металлическим натрием выделяется 1,12 л водорода, а при окислении этого вещества оксидом меди (II) образуется соединение, которое дает реакцию «серебряного зеркала».
424. Какой объем 100%-ного этилового спирта ($\rho = 0,8 \text{ г/см}^3$) потребуется для получения дивинила (выход 75%), если известно, что выделяющегося при этом водорода достаточно для гидрирования 5,376 л этилена?
425. При нагревании 60 г одноатомного спирта неизвестного состава с концентрированной серной кислотой образовалось 17,92 л этиленового углеводорода, причем реакция протекала с 80%-ным выходом от теоретического. Определите строение этого спирта, если известно, что при его окислении оксидом меди (II) образуется соединение, которое дает реакцию «серебряного зеркала».
426. Соединение неизвестного строения вступает в реакцию замещения с 48%-ным раствором бромоводородной кислоты с образованием алкилбромиды, имеющего плотность по водороду 61,5. Определите строение этого соединения, если известно, что при его окислении образуется альдегид.
427. При обработке некоторого количества одноатомного спирта неизвестного состава металлическим натрием выделилось 2,24 л газа, а при взаимодействии образовавшегося органического вещества с избытком *n*-бромистого алкила было получено 20,4 г симметричного кислородсодержащего соединения. Какая масса спирта была взята в реакцию и каково строение спирта?

428. При межмолекулярной дегидратации смеси двух одноатомных спиртов неизвестного строения выделилось 10,8 г воды и образовалось 36 г смеси трех органических соединений в равных молярных соотношениях и принадлежащих к одному и тому же классу органических соединений (выход 100%). Каково строение исходных спиртов?
429. Смесь первых двух членов гомологического ряда одноатомных спиртов обработали металлическим натрием, при этом выделилось 8,96 л газа, а при взаимодействии такого же количества смеси спиртов с бромоводородной кислотой образовалось 78,8 г смеси двух алкилбромидов. Определите количественный состав (в граммах) исходной смеси спиртов.
430. Какую массу смеси двух изомерных спиртов с одинаковой плотностью по водороду, равной 30, нужно взять, чтобы при внутримолекулярной дегидратации этих спиртов, протекающей с выходом 75%, получить 11,2 л этиленового углеводорода. Определите строение исходных спиртов и продукта реакции.
431. При межмолекулярной дегидратации 30 г одноатомного спирта неизвестного состава выделилось 3,6 г воды, причем выход реакции составлял 80% от теоретического. Каково строение исходного спирта, если известно, что в его молекуле имеется две метиленовые группы?
432. Соединение неизвестного строения медленно реагирует с металлическим натрием, не окисляется раствором дихромата натрия, с концентрированной соляной кислотой реагирует быстро с образованием алкилхлорида, содержащего 33,3% хлора и имеющего относительную молекулярную массу 106,5. Определите строение этого соединения.
433. При взаимодействии 0,2 моль соединения неизвестного состава с металлическим натрием выделилось 4,48 л газа. Определите структурную формулу соединения, если известно, что при взаимодействии 6,2 г этого соединения с равным числом молей хлороводорода образовалось 8,05 г органического соединения, содержащего в молекуле один атом кислорода и один атом хлора.
434. Смесь ароматического углеводорода, являющегося гомологом бензола, и фенола общей массой 14 г обработали бромной водой, причем выпало 33,1 г осадка (растворимость можно пренебречь). Определите структурную формулу ароматического углеводорода, если известно, что он находился в исходной смеси в количестве 0,05 моль.
435. При взаимодействии 19 г смеси метилового спирта и фенола с бромной водой образовалось 3,31 г осадка.

- Определите состав исходной смеси (в процентах по массе).
436. Какой объем 9,4%-ного раствора фенола в бензоле ($\rho = 0,9 \text{ г/см}^3$) должен прореагировать с металлическим натрием, чтобы выделившегося водорода хватило на полное каталитическое гидрирование 1,12 л ацетилен?
437. Для нейтрализации смеси этилового спирта и фенола потребовалось 25 мл 40%-ного раствора гидроксида калия ($\rho = 1,4 \text{ г/см}^3$). При обработке этой смеси металлическим натрием могло бы выделиться 6,72 л газа. Определите массовые доли (%) компонентов в исходной смеси.
438. Для нейтрализации смеси фенола и уксусной кислоты потребовалось 23,4 мл 20%-ного раствора гидроксида калия ($\rho = 1,2 \text{ г/см}^3$). При взаимодействии исходной смеси с бромной водой образовалось 16,55 г осадка. Каков состав исходной смеси (в граммах)?
439. При обработке некоторой массы раствора фенола в этиловом спирте натрием выделилось 6,72 л газа, а при взаимодействии такой же массы исходной смеси с бромной водой выпало 16,55 г осадка. Каков состав спиртового раствора фенола (в граммах)?
440. При действии на смесь этилового спирта и фенола избытка металлического натрия выделилось 6,72 л водорода. Для полной нейтрализации этой же смеси потребовалось 25 мл 40%-ного раствора гидроксида калия ($\rho = 1,4 \text{ г/см}^3$). Определите состав исходной смеси (в процентах по массе).
441. Определите строение предельного одноатомного спирта, если известно, что при взаимодействии его с бромоводородом образуется вторичный бромид, а при действии избытка металлического натрия на 30 мл этого спирта ($\rho = 0,8 \text{ г/см}^3$) выделяется водород в количестве, необходимом и достаточном для полного гидрирования 2,24 л дивинила.
442. Этиленовый углеводород неизвестного строения массой 17,5 г при окислении водным раствором перманганата калия на холоду (выход 80%) превращается в соединение $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}\text{O}_2$. Это соединение может прореагировать (в присутствии NaOH) с гидроксидом меди (II), полученным из 31,9 г сульфата меди (безводного). Определите строение углеводорода, если известно, что для него возможны *цис-транс*-изомеры.
443. При межмолекулярной дегидратации предельного одноатомного спирта образовалось 7,4 г простого эфира, а при внутримолекулярной дегидратации такой же массы спирта был получен этиленовый углеводород в количестве, которое может присоединить 4,48 л хлора. Определите строение исходного спирта. Какое дихлорпроизводное образовалось и какова его масса?

§ 6. КАРБОНИЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ (ПРЕДЕЛЬНЫЕ АЛЬДЕГИДЫ И КЕТОНЫ, УГЛЕВОДЫ)

Функциональной группой, общей для альдегидов и кетонов, является карбонильная группа $C=O$.

Изомерия альдегидов связана только со строением радикалов.

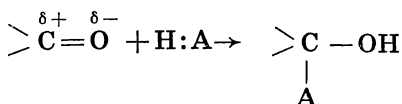
Для альдегидов часто используют тривиальные названия, соответствующие названиям кислот (с тем же числом углеродных атомов), в которые альдегиды переходят при окислении.

По систематической номенклатуре названия альдегидов образуют, прибавляя окончание *-аль* к названию соответствующего углеводорода с самой длинной углеродной цепью, включающей карбонильную группу, от которой и начинается нумерация цепи.

Изомерия кетонов связана со строением радикалов и с положением карбонильной группы в углеродной цепи.

Кетоны часто называют по наименованию радикалов, связанных с карбонильной группой, или по систематической номенклатуре: к названию предельного углеводорода добавляется суффикс *-он* и указывается номер атома углерода, связанного с карбонильным кислородом. Нумерация начинается от ближайшего к кетонной группе конца цепи.

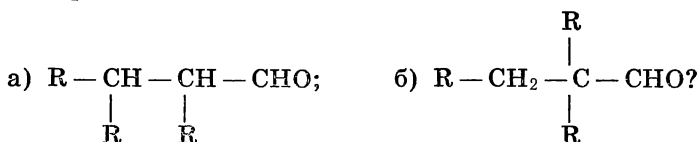
Химические свойства альдегидов и кетонов обусловлены присутствием в их молекуле активной карбонильной группы, в которой двойная связь (σ -связь + π -связь) в силу большей электроотрицательности кислорода по сравнению с углеродом сильно поляризована $\overset{\delta+}{>C}=\overset{\delta-}{O}$ и легко переходит в простую при действии полярных реагентов:



Активность карбонильных соединений, т. е. скорость протекания реакций, зависит от величины положительного заряда на атоме углерода карбонильной группы, и, чем больше этот заряд, тем больше скорость реакции.

Кроме реакций присоединения по карбонильной группе, для альдегидов и кетонов характерны также реакции с участием атомов водорода и углерода, находящегося рядом с карбонильной группой. Их реакционная способность связана с электроноакцепторным влиянием соседней карбонильной группы (например, при галогенировании).

444. Напишите структурные формулы и назовите по систематической номенклатуре все возможные предельные альдегиды состава $C_5H_{10}O$.
445. Являются ли изомерами следующие вещества: CH_3COCH_3 и CH_3CH_2CHO ?
446. Напишите структурные формулы указанных ниже карбонильных соединений: 3,4-диметилпентаналь, 3-метилпентанон-2, 2,2-диметилпропаналь.
447. Что такое формалин? Какова его максимально возможная концентрация? Какое применение в промышленности он находит?
448. Как приготовить 25 г 40%-ного раствора формалина?
449. Какие карбонильные соединения в газообразном состоянии вдвое тяжелее воздуха?
450. Назовите реакции, позволяющие отличить альдегид от кетона.
451. Объясните, почему альдегиды и кетоны кипят при температуре значительно более низкой, чем спирты с тем же числом углеродных атомов. (Например, температура кипения ацетальдегида $21^\circ C$, а этанола $78^\circ C$.)
452. Расположите в ряд по активности в реакциях присоединения по карбонильной группе следующие соединения: формальдегид, ацетальдегид, ацетон. Чем объясняется различие в активности?
453. Как распределены заряды в группе $>C=O$?
454. Предложите схемы получения ацетона из следующих соединений: а) *n*-пропилового спирта; б) пропилена.
455. В каком из приведенных альдегидов имеется α -водородный атом:



456. Напишите схемы промышленных способов получения формальдегида.
457. При окислении какого спирта можно получить метилэтилкетон?
458. Соединение неизвестного строения состава $C_4H_8Cl_2$ нагрели с водным раствором гидроксида натрия и получили органическое соединение, которое превратилось в соединение состава $C_4H_8O_2$, восстановив при этом гидроксид меди (II) до оксида меди (I). Определите строение исходного соединения.

459. В чем различие между реакциями полимеризации и поликонденсации? Приведите примеры обеих реакций.
460. Какие ацетиленовые углеводороды следует взять, чтобы по реакции Кучерова получить: а) метилэтилкетон; б) метилизопропилкетон; в) уксусный альдегид?
461. Какая масса *n*-пропилбромиды потребуются для получения путем ряда последовательных реакций 29 г ацетона, если принять, что все реакции протекают со 100%-ным выходом? Напишите уравнения всех протекающих процессов.
462. Определите строение соединения состава C_4H_8O , если известно, что оно при каталитическом восстановлении образует вторичный бутиловый спирт.
463. Определите строение монокарбонильного соединения с пятью атомами углерода в молекуле, если известно, что оно реагирует с аммиачным раствором оксида серебра, а при каталитическом гидрировании образует спирт состава $C_5H_{12}O$, содержащий три атома углерода в главной цепи.
464. Напишите схемы процессов, протекающих при получении: а) бромистого этила из ацетальдегида; б) ацетона из пропионового альдегида.
465. Какая масса металлического серебра выделится при взаимодействии ацетальдегида с аммиачным раствором оксида серебра, если известно, что ацетальдегид получен по реакции Кучерова из ацетилена, образовавшегося, в свою очередь, из 6,4 г карбида кальция?
466. Из 22,4 л ацетилена (по реакции Кучерова) было получено вещество А с выходом 80%. Его окислили гидроксидом меди (II) и получили соединение В. Соединение В при кипячении с вторичным пропиловым спиртом в присутствии каталитического количества концентрированной серной кислоты превратилось в соединение состава $C_5H_{10}O_2$ с выходом 75%. Какое соединение образовалось и какова его масса? Какая масса безводного сульфата меди $CuSO_4$ потребовалась для получения необходимого количества гидроксида меди (II)?
467. При окислении 16 г неизвестного кислородсодержащего органического соединения образовалось 23 г одноосновной органической кислоты, при взаимодействии которой с избытком гидрокарбоната натрия выделилось 11,2 л газа. Определите строение исходного соединения и образующейся монокарбоновой кислоты.
468. При окислении предельного одноатомного спирта оксидом меди (II) образовалось 11,6 г органического соединения с 50%-ным выходом. При взаимодействии полученного вещества с избытком аммиачного раствора оксида серебра

выделилось 43,2 г осадка. Какой спирт был взят и какова его масса?

469. Какая масса технического 80%-ного карбида кальция требуется для получения 12,5 г хлористого винила и 8,8 г ацетальдегида, если все реакции протекают с выходом 80%?

470. Какой объем кислорода потребуется для окисления ацетальдегида в кислоту, если эта реакция протекает с выходом 80%? При взаимодействии полученной кислоты с избытком порошка мела выделяется газ, который с едким натром образует 21 г кислой соли.

471. Вещество состава $C_5H_{10}O$ не реагирует со свежесажленным гидроксидом меди (II) в присутствии $NaOH$; при частичном восстановлении водородом в присутствии катализаторов гидрирования оно превращается во вторичный спирт симметричного строения, а при полном восстановлении — в *n*-пентан. Определите строение исходного соединения и назовите его по систематической номенклатуре.

472. Пары одноатомного первичного спирта (1,2 моль) пропустили с воздухом над раскаленной медной сеткой. Реакционную смесь охладили и пропустили в аммиачный раствор оксида серебра. Образовавшийся осадок массой 129,6 г отфильтровали. Раствор подкислили, проэкстрагировали эфиром и полученную смесь (после отгонки эфира) нагрели с концентрированной серной кислотой. Получили 52,8 г сложного эфира. Какой спирт был взят? С каким выходом протекало его окисление и какой эфир был получен?

473. При окислении аммиачным раствором оксида серебра технического ацетальдегида массой 0,5 г, содержащего различные примеси, образовалось 2,16 г металла. Определите массовую долю (%) ацетальдегида в техническом препарате.

474. Фенол массой 28,2 г нагрели с избытком формальдегида в присутствии кислоты. При этом образовалось 5,4 мл воды. Определите среднюю молекулярную массу полученного высокомолекулярного продукта реакции, считая, что поликонденсация протекает только линейно и фенол полностью вступает в реакцию.

475. Вещество состава C_3H_8O при окислении оксидом меди (II) превращается в соединение А, которое при взаимодействии с избытком аммиачного раствора оксида серебра образует 2,16 г осадка. Какое из трех возможных изомерных соединений состава C_3H_8O было взято и какова его масса?

476. Какой объем метана и воды потребуется для получения 136,4 мл ($\rho = 1,1$ г/см $_3$) 40%-ного раствора формальде-

гида (формалина), если пропускать смесь метана с воздухом при 500°C в присутствии оксидов азота как катализаторов через реакционную зону с большой скоростью? Считать, что окисление протекает с выходом 80% от теоретического.

477. Сколько молей карбида кальция потребуется для получения 28,16 г ацетальдегида в две стадии, если выход продуктов реакции на каждой из них составляет 80% от теоретического?
478. Какая масса карбида кальция, содержащего 20% примесей, потребуется для получения из него рядом последовательных превращений уксусной кислоты? Известно, что при взаимодействии полученной кислоты с избытком порошка мела выделяющийся газ образует с гидроксидом натрия 21 г кислой соли.
479. При окислении предельного одноатомного спирта А получили 32,5 г смеси, состоящей из исходного спирта, альдегида и монокарбоновой кислоты (их молярные отношения 1:2:3). К этой смеси веществ добавили избыток водного раствора гидрокарбоната натрия. При этом выделилось 3,36 л газа. Определите качественный и количественный состав смеси, полученной в результате окисления спирта А.
480. Какая масса негашеной извести, содержащей 80% оксида кальция, и угля, содержащего 90% углерода, потребуется для получения карбида кальция в количестве, необходимом для синтеза ацетилена, если известно, что уксусный альдегид, образующийся из полученного ацетилена, при взаимодействии с аммиачным раствором оксида серебра дает 50,4 г осадка?
481. С помощью каких реакций можно доказать: а) наличие в молекуле глюкозы пяти гидроксильных групп; б) наличие в молекуле глюкозы альдегидной группы?
482. Сколько граммов глюкозы потребуется для получения из нее этилового спирта брожением, если известно, что при нагревании полученного спирта с концентрированной серной кислотой образуется 10 мл диэтилового эфира ($\rho = 0,925 \text{ г/см}^3$) с выходом 50%? Какие вы знаете виды брожения глюкозы?
483. В результате ферментативного молочнокислого брожения 30 г глюкозы образовалось вещество А, при взаимодействии которого с карбонатом натрия выделилось 3,36 л газа. Определите строение соединения А и его выход (в процентах от теоретического).
484. Какую массу сахарозы нужно подвергнуть гидролизу (в присутствии небольшого количества соляной кислоты), чтобы из образующихся при этом углеводов в результате

их брожения получить такое количество спирта, которое необходимо для синтеза 11,2 л дивинила?

485. Покажите, каким способом древесные отходы (стружка, опилки) можно использовать для получения искусственного каучука. Приведите уравнения соответствующих химических реакций и вычислите, какое количество искусственного каучука можно получить из 1000 кг древесины, содержащей 50% чистой целлюлозы.
486. Рассчитайте, сколько килограммов древесных опилок нужно взять, чтобы в результате ряда последовательных химических реакций получить 896 л этилена. Известно, что в древесных опилках содержится 50% чистой целлюлозы. Приведите уравнения реакций всех протекающих процессов.
487. Рассчитайте, сколько звеньев $C_6H_{10}O_5$ содержится в целлюлозе: а) льняного волокна ($M=586\ 602$ г/моль); б) хлопкового волокна ($M=7538508$ г/моль).

§ 7. КАРБОНОВЫЕ КИСЛОТЫ, СЛОЖНЫЕ ЭФИРЫ, ЖИРЫ

Карбоновые кислоты характеризуются наличием функциональной карбоксильной группы — $\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{C} \\ \backslash \\ \text{OH} \end{array}$.

По числу этих групп различают одно-, двух-, трех- или многоосновные кислоты.

Изомерия карбоновых кислот определяется только строением радикалов. Кислоты с числом углеродных атомов меньше четырех не имеют изомеров. Для кислоты общей формулы $C_5H_{10}O_2$ известно уже четыре изомера.

По систематической номенклатуре названия кислот производят от названий предельных углеводородов с добавлением суффикса: *-овая* и слова *кислота*. Счет атомов цепи начинается от карбоксильной группы. В основу названия входят все С-атомы самой длинной цепи, включая и атом углерода карбоксильной группы.

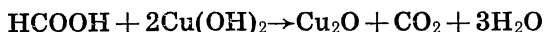
Карбоксильная группа — $\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{C} \\ \backslash \\ \text{OH} \end{array}$ формально представляет собой сочетание карбонильной и гидроксильной группы, которые, однако, взаимно влияют друг на друга. Высокая электроотрицательность карбонильного кислорода, т. е. способность оттягивать электроны, понижает плотность электронов на углеродном атоме карбонильной группы, что, в свою очередь, вызывает сдвиг электронов от кислородного атома гидроксильной группы по направлению к атому углерода. В результате связь между кислородом и водородом гидрок-

сильной группы ослабляется и становится возможным отщепление протона (диссоциация кислот), т. е. проявление кислотных свойств. Кроме того, карбоксильная группа оказывает влияние на подвижность атомов водорода у соседнего с карбоксильной группой α -углеродного атома ($R\overset{\alpha}{CH}_2COOH$).

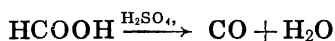
Наиболее характерные свойства карбоновых кислот связаны с превращением их карбоксильной группы в разнообразные функциональные производные кислот (соли, амиды, сложные эфиры, ангидриды и др.).

Муравьиной кислоте, в отличие от ее гомологов, присущи некоторые специфические свойства:

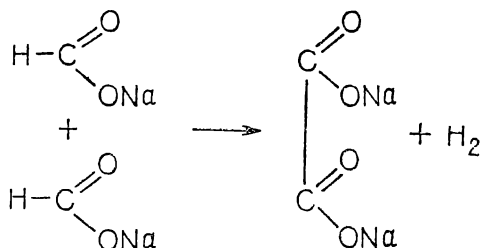
1) она легко окисляется, т. е. может быть хорошим восстановителем, например



2) при нагревании с концентрированной серной кислотой она разлагается:



3) соли ее при плавлении дают соли щавелевой кислоты:



ЗАДАЧИ

488. Напишите структурные формулы следующих соединений:
 а) 2,2-диметилпропановая кислота; б) 2,3-диметилбутановая кислота; в) 3,3-диметилбутановая кислота; г) 2,3-диметилбутандиовая кислота.
489. Напишите структурные формулы изомерных предельных дикарбоновых кислот состава $C_5H_8O_4$ и назовите их по систематической номенклатуре.
490. Напишите структурные формулы предельных монокарбоновых кислот состава $C_7H_{14}O_2$, содержащих в главной цепи шесть атомов углерода. Назовите кислоты по систематической номенклатуре.
491. Напишите структурные формулы всех возможных сложных эфиров состава $C_5H_{10}O_2$ — производных предельных одноосновных кислот.

492. Напишите структурную формулу триглицерида, образованного одним остатком пальмитиновой кислоты и двумя остатками олеиновой кислоты.
493. Напишите структурную формулу этилового эфира α -бромизовалериановой кислоты.
494. Чем объясняются более кислые (по сравнению со спиртами) свойства карбоновых кислот?
495. Объясните, почему α -хлорзамещенные кислоты более сильные, чем незамещенные кислоты.
496. Назовите кислоту, входящую в состав жиров, которая имеет *цис*- и *транс*-изомеры.
497. Напишите структурную формулу твердого жира. Объясните, от чего зависит консистенция жиров.
498. Как можно получить натриевую соль стеариновой кислоты (мыло) из жира?
499. Напишите схему кислотного гидролиза этилового эфира монохлоруксусной кислоты.
500. Какими химическими реакциями можно отличить муравьиную кислоту от уксусной?
501. Какими химическими реакциями можно различить олеиновую и стеариновую кислоты?
502. Оливковое масло содержит 80% (по массе) триглицерида одноосновной ненасыщенной карбоновой кислоты с одной двойной связью. Выведите формулу этого триглицерида, если известно, что 1,105 кг оливкового масла содержит 1 моль этого триглицерида.
503. Многие сложные эфиры предельных одноосновных кислот широко применяют в пищевой и парфюмерной промышленности. Выведите и напишите структурную формулу грушевой эссенции, если известно, что при ее гидролизе образуются два соединения состава $C_2H_4O_2$ и $C_5H_{12}O$, имеющие нормальную цепь углеродных атомов.
504. Из 2,704 кг пчелиного воска выделили 1 моль мирицилового эфира пальмитиновой кислоты, что составляет 25% (по массе). Напишите структурную формулу этого сложного эфира, считая, что мирициловый спирт — это одноатомный спирт с нормальной цепью углеродных атомов.
505. Почему мыло теряет моющие свойства при использовании его в кислой среде?
506. Какие соли и каких органических кислот применяют для изготовления мыла?
507. Соединение состава $C_4H_8O_2$ прокипятили с водным раствором гидроксида натрия и получили метиловый спирт и соединение состава $C_3N_5O_2Na$. Определите строение исходного соединения.
508. Составьте уравнения реакций, с помощью которых можно

получить пропионовую кислоту, исходя из *n*-пропилбромид.

509. Какую массу (в килограммах) уксусной кислоты можно получить трехстадийным способом из 80 кг технического карбида кальция, содержащего 20% примесей, если выход на каждой из трех стадий составляет 80% от теоретического?
510. Назовите по систематической номенклатуре спирты, при окислении которых получают кислоты: а) изомасляную; б) α -хлорпропионовую; в) триметилуксусную (пивалиновую кислоту).
511. В результате ряда химических реакций из 92 г этилового спирта получили соединение состава $C_2H_6O_2$ с выходом 60%, из которого при окислении, протекающем с количественным выходом, образовалась щавелевая кислота. Ее подвергли этерификации метиловым спиртом, взятым с 30%-ным избытком. Рассчитайте, какая масса метанола была израсходована и какая масса диметилового эфира щавелевой кислоты образовалась.
512. Приведите схему химического процесса, протекающего при получении муравьиной кислоты по известному вам современному промышленному способу.
513. Приведите схемы химических процессов, протекающих при получении уксусной кислоты по известным вам промышленным способам. Что такое ледяная уксусная кислота?
514. В промышленности уксусную кислоту получают оксосинтезом из метилового спирта и оксида углерода (II) в присутствии катализатора $Ni(CO)_4$ под высоким давлением. Рассчитайте, какой объем метанола ($\rho = 0,8 \text{ г/см}^3$) потребуется для получения 90 кг уксусной кислоты этим способом, если выход ее составляет 75% от теоретического.
515. Напишите схемы получения муравьиной и уксусной кислот, имея в качестве исходных только неорганические соединения.
516. Предложите метод выделения масляной кислоты из смеси ее с *n*-бутиловым спиртом.
517. Какое органическое вещество и какой массой было взято для окисления его гидроксидом меди (II), если при взаимодействии продукта реакции с 2,24 л хлора образовалось 9,45 г монохлорзамещенной одноосновной кислоты?
518. Смесь органических веществ одного и того же состава $C_4H_8O_2$ массой 44 г обработали гидрокарбонатом натрия, при этом выделился оксид углерода (IV) и образовалось 22 г натриевой соли органической кислоты. Остаток обработали водным раствором щелочи при нагре-

вании и отогнали образовавшийся при этом этиловый спирт. Установите строение веществ в исходной смеси. Рассчитайте, какая масса этанола была получена.

519. Уксусную кислоту массой 30,9 г, содержащую примеси этилового спирта и ацетальдегида, последовательно обработали водным раствором гидрокарбоната натрия, при этом выделилось 11,2 л газа. При последующей обработке аммиачным раствором оксида серебра образовалось 2,16 г осадка. Определите содержание (в процентах по массе) примесей в уксусной кислоте.
520. Расположите в ряд по увеличению степени диссоциации следующие соединения: а) CH_3COOH ; HCOOH ; б) Cl_3CCOOH ; Cl_2CHCOOH ; ClCH_2COOH ; в) CH_3COOH ; BrCH_2COOH ; ClCH_2COOH .
521. Напишите уравнения реакций пропионовой кислоты с: а) карбонатом кальция; б) оксидом кальция; в) гидроксидом натрия; г) хлором (1 моль); д) этиловым спиртом (H^+); в) водородом (2 моль, катализатор).
522. При нагревании 25,8 г смеси этилового спирта и уксусной кислоты в присутствии концентрированной серной кислоты было получено 14,08 г сложного эфира. При полном сжигании исходной смеси спирта и кислоты образовалось 23,4 мл воды. Найдите состав (в процентах по массе) исходной смеси и рассчитайте, с каким выходом протекала реакция этерификации.
523. 58,2 г смеси *n*-пропилового спирта и предельной одноосновной органической кислоты (молярное соотношение 2:1) обработали избытком цинковой пыли. Выделившийся при этом газ полностью прореагировал с 3,36 л дивинила, превратив его целиком в один из изомерных бутенов. Определите строение монокарбоновой кислоты в исходной смеси.
524. Смесь фенола и этилового эфира предельной монокарбоновой кислоты общей массой 29,8 г обработали 393 мл 20%-ного раствора гидроксида натрия ($\rho = 1,22 \text{ г/см}^3$) при нагревании. Избыток щелочи нейтрализовали 180,5 мл 36%-ной соляной кислоты ($\rho = 1,18 \text{ г/см}^3$). Если обработать исходную смесь избытком бромной воды, то образуется 33,1 г белого творожистого осадка. Определите строение эфира в исходной смеси.
525. При окислении перманганатом калия смеси бензола и толуола после подкисления образовалось 8,54 г одноосновной органической кислоты. При взаимодействии этой кислоты с избытком водного раствора гидрокарбоната натрия выделился газ, объем которого в 19 раз меньше объема такого же газа, полученного при полном сгорании исходной смеси углеводородов. Определите состав исходной смеси углеводородов (в процентах по массе).

526. Жир массой 44,5 г, представляющий собой триглицерид только одной предельной органической кислоты, нагрели с 70 мл 20%-ного раствора гидроксида натрия ($\rho = 1,2 \text{ г/см}^3$). Для нейтрализации избытка гидроксида натрия потребовалось 22,5 мл 36,5%-ной соляной кислоты ($\rho = 1,2 \text{ г/см}^3$). Какие органические соединения при этом образовались и каковы их массы?
527. При окислении без разрыва C—C связи предельного одноатомного спирта А получена кислота В с выходом 80%. При действии на кислоту В избытка металлического цинка выделилось 4480 мл водорода. Какая кислота и в каком количестве была получена? Какой спирт потребовался и какова его масса, если известно, что при дегидратации спирта А образуется изобутилен?
528. При окислении 16 г неизвестного кислородсодержащего органического соединения образовалось 23 г одноосновной предельной органической кислоты, при взаимодействии которой с избытком гидрокарбоната натрия выделилось 11,2 л газа. Определите формулы исходного соединения и органической кислоты, образовавшейся в результате окисления.
529. Какая масса соли получится при нейтрализации 48 г 25%-ного водного раствора уксусной кислоты 91 мл 10%-ного раствора гидроксида натрия ($\rho = 1,1 \text{ г/см}^3$)? Какой из реагентов был взят в избытке?
530. Определите строение ароматического углеводорода состава C_9H_{12} , если известно, что при окислении его водным раствором перманганата калия образуется бензолтрикарбоновая кислота, а при бромировании этого углеводорода бромом в присутствии катализатора FeBr_3 образуется только одно монобромпроизводное.
531. Какая масса ароматического углеводорода состава C_8H_{10} потребуется для получения из него (при окислении водным раствором перманганата калия и последующем подкислении) 9,76 г вещества, имеющего состав $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_2$, если окисление протекает с выходом 80%? Определите строение исходного ароматического углеводорода и продукта его окисления.
532. Определите строение предельной одноосновной органической кислоты, если известно, что для нейтрализации 1 г этой кислоты требуется 27 мл гидроксида натрия [$c(\text{NaOH}) = 0,5 \text{ моль/л}$].
533. При действии натрия на 13,8 г смеси этилового спирта и одноосновной органической кислоты выделяется 3,36 л газа, а при действии на ту же смесь насыщенного раствора гидрокарбоната натрия — 1,12 л газа. Определите состав (в процентах по массе) исходной смеси и строение органической кислоты.

534. При взаимодействии 11,5 г муравьиной кислоты с абсолютным (100%-ным) этиловым спиртом в присутствии минеральной кислоты как катализатора было получено 14,8 г сложного эфира. Определите выход продукта реакции. Какой объем спирта ($\rho = 0,8 \text{ г/см}^3$) был израсходован, если он был взят со 100%-ным избытком?
535. 37 г неизвестной предельной одноосновной органической кислоты нейтрализовали водным раствором гидрокарбоната натрия. При пропускании выделившегося газа через известковую воду выпало 50 г осадка. Какая кислота была взята и каков объем выделившегося газа? (Растворимостью оксида углерода (IV) в воде пренебречь.)
536. При гидролизе в присутствии кислоты сложного эфира применили метод меченых атомов — на этилацетат действовали водой, содержащей изотоп кислорода ^{18}O . Укажите, в каком из продуктов реакции будет содержаться этот изотоп кислорода. Напишите уравнение реакции.
537. При окислении предельного одноатомного спирта кислородом воздуха в присутствии катализатора при 500°C образовалась кислота, на нейтрализацию 22 г которой потребовалось 59,4 мл 20%-ного раствора гидроксида калия ($\rho = 1,18 \text{ г/см}^3$). Определите молекулярную формулу исходного спирта и напишите его возможные структурные формулы.

§ 8. АЗОТСОДЕРЖАЩИЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ (НИТРОСОЕДИНЕНИЯ, АМИНЫ, АМИНОКИСЛОТЫ)

Предельные нитросоединения — это производные предельных углеводов, в которых один атом водорода замещен

на нитрогруппу $-\overset{+}{\text{N}} \begin{array}{l} \nearrow \text{O} \\ \searrow \text{O}^- \end{array}$. Для нитросоединений характерно на-

личие непосредственной связи углерод — азот ($\text{R}-\text{NO}_2$).

Различают первичные RCH_2NO_2 , вторичные R_2CHNO_2 и третичные R_3CNO_2 нитросоединения. Это разделение определяется характером углеродного атома, связанного с нитрогруппой.

Нитросоединения обычно называют по углеводороду с приставкой *нитро-*. По систематической номенклатуре цифрой указывается местонахождение нитрогруппы.

Амины — это производные аммиака, в котором атомы водорода частично или полностью замещены углеводородными радикалами алифатического, алициклического или ароматического ряда.

Амины характеризуются наличием функциональной группы — аминогруппы. В зависимости от того, сколько атомов водорода в аммиаке замещено радикалами, различают амины: первичные RNH_2 , вторичные R_2NH и третичные R_3N . Таким образом, в аминах понятия «первичный», «вторичный», «тре-

тичный» связаны не с характером углеродного атома, а со степенью замещения водородов при атоме азота аммиака.

Изомерия аминов связана с местонахождением аминогруппы в углеродной цепи и с количеством и строением радикалов у атома азота. Амины обычно называют как алкилзамещенные производные аммиака: к наименованию радикала, входящего в состав амина, добавляется суффикс *-амин*.

По систематической номенклатуре названия аминов образуются добавлением суффикса *-амин* к названию соответствующего углеводорода.

Наиболее известным и важным представителем первичных ароматических аминов является анилин.

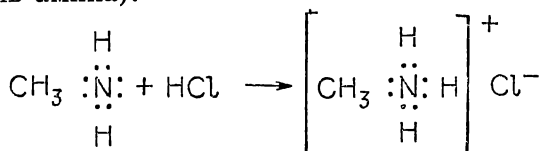
Аминокислоты — бифункциональные органические соединения, в молекуле которых имеется две функциональные группы — аминогруппа и карбоксильная. По их взаимному расположению различают α -, β -, γ -аминокислоты.

Аминокислоты называют обычно как замещенные производные соответствующих карбоновых кислот, обозначая положение аминогруппы буквами греческого алфавита.

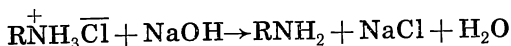
Изомерия аминокислот связана с положением функциональных групп и со строением углеродного скелета.

Амины обладают основными свойствами и образуют соли с кислотами.

В аминах атом азота из пяти своих валентных электронов затрачивает на образование ковалентных связей только три электрона. К оставшейся свободной неподеленной паре электронов может присоединиться протон и образоваться соль аммония (соль амина):



В солях аммония азот образует четыре равноценные ковалентные связи, пятая группа (анион) удерживается связью ионного типа. Эти соли снова превращаются в амины при действии сильного основания:



В ароматическом амине — анилине — свободная пара электронов аминогруппы взаимодействует с π -электронной системой бензольного кольца. Вследствие этого взаимодействия электронная плотность на азоте аминогруппы уменьшается и способность неподеленной пары электронов присоединять протон понижается. Поэтому свойства анилина как основания проявляются значительно слабее, чем, например, в аммиаке.

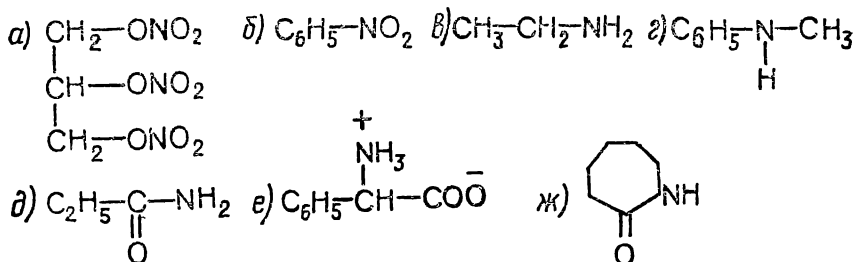
Аминокислоты — это соединения, в которых две функциональные группы — амино- и карбоксильная — реагируют друг

с другом. Поэтому молекулы аминокислот представляют собой биполярные ионы (цвиттер-ионы, или внутренние соли) $\text{NH}_3^+\text{CH}_2\text{COO}^-$.

Аминокислоты реагируют с кислотами и основаниями (амфотерность). Им свойственны обычные реакции по карбоксильной и аминогруппе. Кроме того, в результате межмолекулярного взаимодействия амино- и карбоксильной групп из аминокислот образуются пептиды различного строения.

ЗАДАЧИ

538. Напишите структурные формулы всех первичных аминов состава $\text{C}_4\text{H}_{11}\text{N}$ и назовите их по систематической номенклатуре.
539. Напишите структурные формулы всех третичных аминов состава $\text{C}_5\text{H}_{13}\text{N}$ и назовите их.
540. Напишите структурные формулы всех изомерных аминов состава $\text{C}_7\text{H}_9\text{N}$. Известно, что молекула каждого из изомеров содержит бензольное кольцо.
541. Напишите структурные формулы следующих соединений: а) пропанамин-2; б) 2-метилпропанамин-1; в) диметилпропиламмонийбромид.
542. Назовите следующие соединения и укажите, какие из них являются первичными, вторичными и третичными аминами: а) $(\text{CH}_3)_3\text{N}$; б) $\text{CH}_3\text{NHC}_2\text{H}_5$; в) $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{NH}_2$; г) $(\text{CH}_3)_3\text{CNH}_2$.
543. Напишите структурные формулы нитросоединений состава $\text{C}_4\text{H}_9\text{NO}_2$. Сколько среди этих изомеров первичных, вторичных и третичных нитросоединений? Назовите их по систематической номенклатуре.
544. Напишите структурные формулы всех изомерных аминокислот.
545. Напишите структурные формулы всех изомерных аминокислот состава $\text{C}_7\text{H}_7\text{O}_2\text{N}$.
546. Напишите структурные формулы аминокислот: а) β -аминопропионовой; б) n -аминобензойной; в) α -аминомасляной; г) γ -аминовалериановой.
547. К какому классу органических соединений принадлежит каждое из приведенных азотсодержащих соединений?



548. Какие первичные амины получают при восстановлении следующих нитросоединений: а) 2-нитробутана; б) нитробензола; в) 2-метил-2-нитропропана?
549. Какие нитросоединения следует взять, чтобы при восстановлении их получить: а) изопропиламин; б) *n*-метиламин; в) этиламин?
550. Какая масса 2-нитробутана потребуется для получения из него каталитическим восстановлением 29,2 г бутанамина-2, если оно протекает с выходом 80% от теоретического?
551. Какая масса бензола потребуется для получения путем ряда последовательных превращений 64,75 г хлористого фениламмония, если выход продуктов реакции на каждой стадии, кроме последней (где выход 100%), составляет 50% от теоретического?
552. Ароматический углеводород состава C_9H_{12} массой 24 г пронитровали, при этом образовалось только одно мононитропроизводное, которое при последующем восстановлении железом в соляной кислоте было превращено в первичный ароматический амин. Определите строение исходного углеводорода и продуктов реакции. Рассчитайте, какое количество амина получится, если все реакции протекали с выходом 75%.
553. Пронитровали 36,8 г ароматического углеводорода, при этом образовалось единственное мононитропроизводное, которое восстановили железом в кислой среде и получили с выходом 60% вещество, которое полностью поглощает газ, выделяющийся при действии избытка концентрированной H_2SO_4 на 14,04 г хлорида натрия. Определите строение исходного углеводорода.
554. Смесь пропана и метиламина общим объемом 11,2 л сожгли в избытке кислорода. Продукты сгорания пропустили через известковую воду. При этом образовалось 80 г осадка. Определите состав исходной смеси газов (в процентах по объему) и объем кислорода, который был при этом израсходован.
555. Через 10 г смеси толуола, фенола и анилина пропустили ток сухого хлороводорода; при этом выпало 2,59 г осадка. Осадок отфильтровали, а фильтрат обработали водным раствором гидроксида натрия. Верхний органический слой отделили, его масса уменьшилась на 4,7 г. Определите процентный состав исходной смеси.
556. К 16,6 г смеси этилового и пропилового спиртов прибавили избыток металлического натрия, при этом выделилось 3,36 л водорода. Определите состав исходной смеси спиртов. Какая масса этой смеси потребуется, чтобы выделившимся водородом можно было восстановить 17,8 г 1-нитропропана в пропиламин?

557. Определите молярную массу вторичного амина, если известно, что его хлороводородная соль содержит 43,55% хлора.
558. Определите строение сложного эфира α -аминокислоты, если известно, что он содержит 15,73% азота.
559. 16,3 г смеси α -аминокислоты и первичного амина (молярное соотношение 3:1) могут прореагировать с 20 г 36,5%-ной соляной кислоты. Определите качественный и количественный состав (в граммах) смеси, если известно, что оба вещества содержат одинаковое число атомов углерода.
560. При помощи каких химических реакций (не прибегая к перегонке) можно разделить смесь этилацетата и бутиламина?
561. Как разделить смесь этиловых эфиров уксусной и аминокусусной кислот?
562. Как различить аммиак и метиламин?
563. Как отделить анилин от нитробензола?
564. Какой объем воздуха потребуется для полного сгорания 5,6 л метиламина?
565. Какой объем 10%-ного раствора гидроксида натрия ($\rho = 1,1 \text{ г/см}^3$) может прореагировать с аминокусусной кислотой (глицином), полученной из 3,2 г карбида кальция?
566. Бензольный раствор фенола и анилина объемом 18 мл ($\rho = 1,0 \text{ г/см}^3$) обработали водным раствором щелочи, органический слой отделили и обработали соляной кислотой. При этом масса бензольного раствора уменьшилась соответственно на 3,6 и 5,4 г. Определите состав исходного раствора (в процентах по массе).
567. Напишите схемы образования двух возможных дипептидов из α -аланина и глицина.
568. Напишите формулы следующих аминокислот в виде биполярных ионов: α -аланина, фенилаланина, α -аминоизомасляной кислоты.
569. Объясните появление щелочных свойств раствора метиламина в воде. Напишите уравнение реакции.
570. Объясните, почему анилин обладает более слабыми основными свойствами, чем диметиламин.
571. Получите этиловый эфир аминокусусной кислоты, исходя из этанола и других необходимых неорганических реагентов. Напишите схему всех протекающих процессов.
572. Какое химическое соединение используют для получения синтетического волокна — капрона? Приведите формулу элементарного звена такого волокна. Каким образом увеличить прочность такого волокна?
573. Напишите реакции для карбоксильной группы, характерные для аминокислот.

574. Из уксусной кислоты двухстадийным синтезом получили 30 г аминоксусной кислоты. На нейтрализацию избытка уксусной кислоты после отделения ее от продуктов реакции потребовалось 25 мл 19%-ного раствора ($\rho = 1,18 \text{ г/см}^3$) гидроксида калия. Какая масса уксусной кислоты была взята, если выход продуктов реакции на каждой стадии синтеза составлял 80%?
575. В смесь анилина, бензола и фенола общей массой 50 г пропустили сухой хлороводород. При этом образовалось 25,9 г осадка, его отфильтровали. Фильтрат обработали бромной водой и получили 9,93 г осадка. Определите состав исходной смеси (в процентах по массе).
576. Хлороводород пропустили в 10%-ный водный раствор (массой 180 г) первичного алифатического амина. После этого раствор упарили досуха и получили твердое белое вещество, содержащее 43,55% хлора. Определите строение исходного амина и объем (в литрах) израсходованного хлороводорода.
577. Какая масса соли образуется при взаимодействии 15 г глицина (аминоксусная кислота) с 91 мл 10%-ного раствора гидроксида натрия ($\rho = 1,1 \text{ г/см}^3$)? Какой из реагентов взят в избытке?
578. Какую массу анилина можно получить из 23,4 г бензола при 80%-ном выходе на каждой стадии?
579. Для нейтрализации 100 г водного раствора метиламина и анилина потребовалось 83,4 мл концентрированной соляной кислоты (36,5%-ная, $\rho = 1,19 \text{ г/см}^3$). Определите массу каждого амина в растворе, если известно, что на полное сжигание такого же количества газообразного метиламина, какое находится в растворе, израсходовали 22,4 л кислорода.
580. Какая масса глюкозы потребуется для получения из нее брожением этилового спирта в количестве, достаточном для этерификации 4,5 г глицина (аминоксусной кислоты)? Учесть, что спирт при этерификации берут с 200%-ным избытком.
581. Какая масса аланина потребуется для получения 23,6 г аланилфенилаланина?

ЗАДАЧИ ПОВЫШЕННОЙ СЛОЖНОСТИ

582. Сколько литров смеси газов SO_2 и N_2 , в которой содержится 20% сернистого газа по массе, надо пропустить через 1000 г 4%-ного раствора гидроксида натрия, чтобы массовые доли солей, образующихся в растворе, стали одинаковыми?
583. Через 100 мл 12,33%-ного раствора хлорида железа (II) ($\rho = 1,03 \text{ г/см}^3$) пропускали хлор до тех пор, пока концентрация хлорида железа (III) в растворе не стала рав-

на концентрации хлорида железа (II). Определите объем поглощенного хлора (при н. у.).

584. К раствору смеси бромидов и йодида калия добавляют бромную воду. Масса остатка, полученного при упаривании и прокаливании, на m г меньше массы исходной смеси солей. Полученную смесь вновь растворяют в воде и через раствор пропускают хлор. Масса полученных солей после прокаливании на m г меньше массы солей, полученных в первом опыте. Определите массовую долю (%) бромидов и йодида калия в исходной смеси солей.
585. Образец смеси карбоната и гидрокарбоната аммония с массой m (в граммах) поместили в замкнутый сосуд объемом V (в миллилитрах), нагрели до 900°C и при этой температуре измерили давление p_1 . Другой образец той же массы обработали газообразным аммиаком, полученный продукт поместили в сосуд того же объема и также нагрели до 900°C . Давление p_2 , измеренное в этом случае, было в 1,2 раза больше p_1 . Определите массовые доли (%) карбоната и гидрокарбоната в исходной смеси солей.
586. В процессе синтеза оксида серы (VI) SO_3 из оксида серы (IV) SO_2 и кислорода давление в реакционной смеси упало на 22,5%. Определите состав (в процентах по объему) газовой смеси (приведенной к н. у. после реакции), если в исходной смеси содержалось 50% по объему газа SO_2 .
587. При электролизе 872 г 9,17%-ного раствора нитрата калия KNO_3 на аноде выделилось количество кислорода, оказавшееся достаточным для полного окисления 49,6 г фосфора. Вычислите массовые доли (%) соединений в электролизере после проведения электролиза.
588. Электролиз 400 мл 6%-ного раствора сульфата меди ($\rho = 1,02 \text{ г/см}^3$) продолжали до тех пор, пока масса раствора не уменьшилась на 10 г. Определите массовые доли (%) соединений в оставшемся растворе и массы продуктов, выделившихся на инертных электродах электролизера.
589. При растворении серебра в 60%-ной азотной кислоте массовая доля кислоты в растворе уменьшилась до 55%. Затем к полученному раствору добавили равный по массе 2%-ный раствор хлорида натрия. Раствор профильтровали. Определите массовые доли (%) солей в растворе.
590. В двух стаканах находится по 50 г раствора нитрата неизвестного металла. В первый стакан добавили порошок металлического цинка, во второй — такую же массу магния. По окончании реакции осадки отделили и установили, что их массы отличаются на 0,164 г. При нагревании осадков с избытком соляной кислоты выделился водород, причем в обоих случаях осталось по 0,864 г металла,

который не реагировал с избытком кислоты. Определите формулу нитрата и массовую долю (%) соли в исходном растворе.

591. При растворении серебра в 53%-ной азотной кислоте массовая доля кислоты уменьшилась до 46%. В полученном растворе кислоты растворили медь, в результате массовая доля кислоты снизилась до 39%. Определите массовые доли солей в полученном растворе.
592. Раствор, полученный после смешения 85,85 г 20%-ного раствора аммиака с 170 г 10%-ного раствора гидроксида аммония, обработали 15%-ным раствором серной кислоты. Было прибавлено столько раствора кислоты H_2SO_4 , чтобы соотношение двух типов солей, образовавшихся в растворе, стало равным 1:1 (в молях). Какое количество вещества воды содержится в полученном растворе? Раствор, содержащий смесь солей, нагрели и к нему прилили 1560 г 10%-ного раствора BaCl_2 . Осадок отфильтровали. Определите массовые доли (%) веществ в фильтрате и массу осадка.
593. Смесь из порошка алюминия и карбоната натрия (масса смеси 35 г) сплавляют в открытом тигле в атмосфере кислорода. Определите массовые доли (%) веществ в полученной смеси, если ее масса после сплавления стала равна 37,9 г.
594. 250 г насыщенного при 20 °С раствора хлорида кальция охлаждают до 0 °С. Выпадает осадок кристаллогидрата, содержащего 6 молекул воды на одну молекулу соли. Растворимость (на 100 г воды) хлорида кальция при 20 °С равна 74,5 г, а его кристаллогидрата при 0 °С — 37,3 г. Определите массу осадка и массовую долю (%) соли в растворе, полученном после отделения осадка.
595. Под стеклянным колпаком помещают в открытых сосудах 400 г насыщенного раствора сульфата магния и 20 г безводного сульфата натрия. В результате поглощения паров воды сульфат натрия превращается в кристаллогидрат $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$. Определите, сколько граммов кристаллогидрата сульфата магния ($\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) выделится из раствора после окончания гидратации сульфата натрия. Растворимость сульфата магния — 35,5 г на 100 г воды.
596. Определите состав (в процентах по массе) раствора, полученного после взаимодействия 150 мл 20%-ного раствора соляной кислоты ($\rho = 1,1 \text{ г/см}^3$) сначала с 10 г железной окалины Fe_3O_4 , а затем с избытком металлического железа.
597. При определении степени увлажнения суперфосфата 25 г его образца смешали с избытком тонкоизмельченного карбида кальция. Объем полученного газа составил 100 мл (измерено при 98 658 Па и температуре 20 °С). Какую мас-

совую долю (%) от общего содержания воды в данном образце суперфосфата составляла поглощенная влага, если исходный состав суперфосфата до увлажнения отвечал формуле $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot (\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$?

598. В открытом тигле прокалили образец цинковой руды массой 15 г. После прокаливания масса образца уменьшилась на 2,184 г. Другой образец той же руды массой 15 г обработали избытком соляной кислоты, а выделившийся газ пропустили через реактор, содержащий раствор перманганата калия, подкисленный серной кислотой. При этом в реакцию вступило 4,74 г перманганата калия и образовалось эквивалентное количество вещества серы. Определите состав руды, если известно, что она содержит сульфид цинка, карбонат цинка и двуокись кремния.
599. Имеются две газовые смеси, объемы которых равны. Первая смесь содержит газы NO_2 и O_2 , вторая — SO_2 и N_2 . Массы компонентов каждой смеси равны. Все газы смешали в закрытом объеме при температуре 400 К. Определите, как изменится давление в реакторе после окончания взаимодействия веществ. Вычислите объемные доли (%) газов в конечной смеси.
600. На 82,4 г смеси оксида марганца (IV) с неизвестным оксидом состава ЭлO_2 (реагирует с соляной кислотой без выделения хлора) подействовали избытком раствора соляной кислоты, при этом выделилось 13,44 л газа (при н. у.). Неизвестный оксид примешан к оксиду марганца в молярном отношении 1:3. Определите, что представляет собой неизвестный оксид и сколько граммов его было в смеси.
601. При взаимодействии газа, полученного растворением 19,05 г металлической меди в разбавленной азотной кислоте, с некоторым газом, выделившимся при разложении бертолетовой соли, суммарный объем газов стал равным 8,96 л (при н. у.). Определите массу и количество вещества бертолетовой соли, взятой для разложения, считая, что она разлагается с выделением этого газа на 70%.
602. Для полного восстановления 108 г оксида металла использовали смесь оксида углерода (II) и водорода. При этом образовалось 18 г воды и 11,2 л газа (при н. у.). Раствор, полученный при растворении продукта реакции в концентрированной серной кислоте при нагревании, давал синее окрашивание с желтой кровяной солью. Определите состав оксида и объемные доли (%) газов CO и H_2 в исходной смеси.
603. Запишите окончания уравнений следующих реакций гидролиза и расставьте коэффициенты:
1. $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \dots$
 2. $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{K}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \dots$

3. $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + (\text{NH}_4)_2\text{S} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \dots$
4. $\text{AlCl}_3 + (\text{NH}_4)_2\text{S} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \dots$
5. $\text{AlCl}_3 + \text{CH}_3\text{COONa} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Al}(\text{OH})(\text{CH}_3\text{COO})_2 + \dots$
6. $\text{CuSO}_4 + \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow [\text{Cu}(\text{OH})_2]\text{CO}_3 + \dots$
7. $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NH}_4\text{Cl} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \dots$
8. $\text{Al}_4\text{C}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \dots$
9. $\text{ZnSO}_4 + \text{K}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow [\text{Zn}(\text{OH})_2]\text{CO}_3 + \dots$
10. $\text{FeCl}_3 + (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \dots$

604. Закончите составление уравнений следующих окислительно-восстановительных реакций:

1. $\text{Fe}(\text{OH})_2 + \text{NaBrO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \dots$
2. $\text{Zn} + \text{KClO}_3 + \text{KOH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{K}_2[\text{Zn}(\text{OH})_4] + \dots$
3. $\text{KNO}_3 + \text{Al} + \text{KOH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{K}_3[\text{Al}(\text{OH})_6] + \text{NH}_3 \uparrow$
4. $\text{Mn}(\text{OH})_2 + \text{Cl}_2 + \text{KOH} \rightarrow \text{MnO}_2 + \dots$
5. $\text{MnO}_2 + \text{O}_2 + \text{KOH} \rightarrow \text{K}_2\text{MnO}_4 + \dots$
6. $\text{MnO}_2 + \text{KBr} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{MnSO}_4 + \dots$
7. $\text{KMnO}_4 + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{MnO}_2 + \dots$
8. $\text{KMnO}_4 + \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{MnSO}_4 + \dots$
9. $\text{K}_2\text{MnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{KMnO}_4 + \text{MnO}_4 + \dots$
10. $\text{NH}_3 + \text{Br}_2 \rightarrow \text{H}_2 \uparrow + \dots$
11. $\text{Fe}(\text{CrO}_2)_{2(\text{тв})} + \text{K}_2\text{CO}_{3(\text{тв})} + \text{O}_2 \xrightarrow{t} \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{CrO}_4 + \dots$
12. $\text{HI} + \text{H}_2\text{SO}_{4 \text{ конц.}} \rightarrow \dots$
13. $\text{FeSO}_4 + \text{Br}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \dots$
14. $\text{FeSO}_4 + \text{KClO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \dots$
15. $\text{HIO}_3 + \text{H}_2\text{S} \rightarrow \dots$
16. $\text{CuCl} + \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{HCl} \rightarrow \text{CrCl}_3 + \dots$
17. $(\text{NH}_4)_2\text{S} + \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{S} + \text{Cr}(\text{OH})_3 + \text{NH}_4\text{OH} + \dots$
18. $\text{Na}[\text{Cr}(\text{OH})_4] + \text{Cl}_2 + \text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{CrO}_4 + \dots$
19. $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{NaNO}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \dots$
20. $\text{K}_2\text{CrO}_4 + \text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \dots$
21. $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{K}_2\text{S} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{S} + \dots$
22. $\text{CrCl}_3 + \text{NaClO} + \text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{CrO}_4 + \dots$
23. $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{KI} \rightarrow \dots$
24. $\text{NaNO}_2 + \text{Cl}_2 + \text{NaOH} \rightarrow \dots$
25. $\text{CuCl}_2 + \text{H}_2\text{S} \rightarrow \dots$
26. $\text{FeCl}_3 + \text{H}_2\text{S} \rightarrow \dots$
27. $\text{HNO}_2 + \text{H}_2\text{S} \rightarrow \dots$
28. $\text{KMnO}_4 + \text{H}_3\text{PO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{MnSO}_4 + \dots$
29. $\text{FeSO}_3 + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{MnSO}_4 + \dots$
30. $\text{HClO}_4 + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \dots$

605. 6,64 л смеси хлора с неизвестным газом при нормальных условиях имеют массу 15,45 г. Определите молекулярную массу неизвестного газа, если при получении хлора, входящего в состав смеси, взаимодействием оксида марганца (IV) с 100 мл 30%-ного раствора соляной кислоты ($\rho = 1,15 \text{ г/см}^3$) массовая доля (%) последней снизилась до 5,1%.

606. Масса 1 л смеси водорода, метана и оксида углерода (II) при 17 °С и 98,6 кПа составляет 0,8 г. Для полного сгорания одного объема этой смеси требуется 1,4 объема кислорода. Определите объемный состав смеси (в процентах).
607. Продукт реакции иодистого этила и 46 г металлического натрия нагревали в присутствии хлористого алюминия (катализатор). Какие соединения при этом получатся? Каковы их массы, если учесть, что процент каталитического превращения углеводорода составляет 75%?
608. При сжигании 7,2 г органического вещества, плотность паров которого по водороду равна 36, образовалось 22 г оксида углерода (IV) и 10,8 г воды. Определите строение исходного соединения, если известно, что при радикальном хлорировании его образуется только одно моноклорпроизводное.
609. Углеводород массой 8,4 г обесцвечивает бромную воду, присоединяет 3,36 л водорода в присутствии катализатора; при окислении углеводорода водным раствором марганцевокислого калия на холоду образуется соединение симметричного строения состава $C_4H_{10}O_2$. Определите строение исходного углеводорода.
610. При пропускании над окисью алюминия при 350 °С 30 г предельного одноатомного спирта образовалось 8,4 л газообразного этиленового углеводорода с выходом 75%. Определите, какой из возможных изомеров исходного спирта целесообразнее применять в этом случае.
611. При каталитическом дегидрировании *n*-гексана получили 42,2 г смеси изомерных гексенов и гексана. Чтобы очистить гексены от примеси исходного парафинового углеводорода, полученную смесь обработали бромной водой и перегонкой освободили продукт реакции от гексана. Затем остаток полностью прореагировал с 26 г металлического цинка. Объясните химизм этого способа очистки, проиллюстрировав его соответствующими уравнениями реакций, и определите, с каким выходом от теоретического протекало дегидрирование гексана.
612. 47,4 г смеси бензола и циклогексана дегидрировали над платиновым катализатором при нагревании. В результате выделился газ в количестве, необходимом и достаточном для превращения 12,3 г нитробензола в анилин. Образовавшийся при дегидрировании углеводород подвергли затем действию хлора при освещении. Определите, электролизом какой массы поваренной соли можно получить необходимый для этой реакции хлор.
613. При взаимодействии 78 г бензола с бромом в присутствии соли $FeBr_3$ образовалась такая же масса бромбензола (образования дибромбензола при этом не наблюдалось).

Какой объем этилена потребуется для того, чтобы присоединить образовавшийся при бромировании бензола бромистый водород, если последняя реакция протекает с количественным выходом? Определите, с каким выходом протекает реакция бромирования бензола.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

Кузьменко Н. Е., Чуранов С. С. Общая и неорганическая химия: Пособие для поступающих в вузы и для учащихся подготов. курсов. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1977.

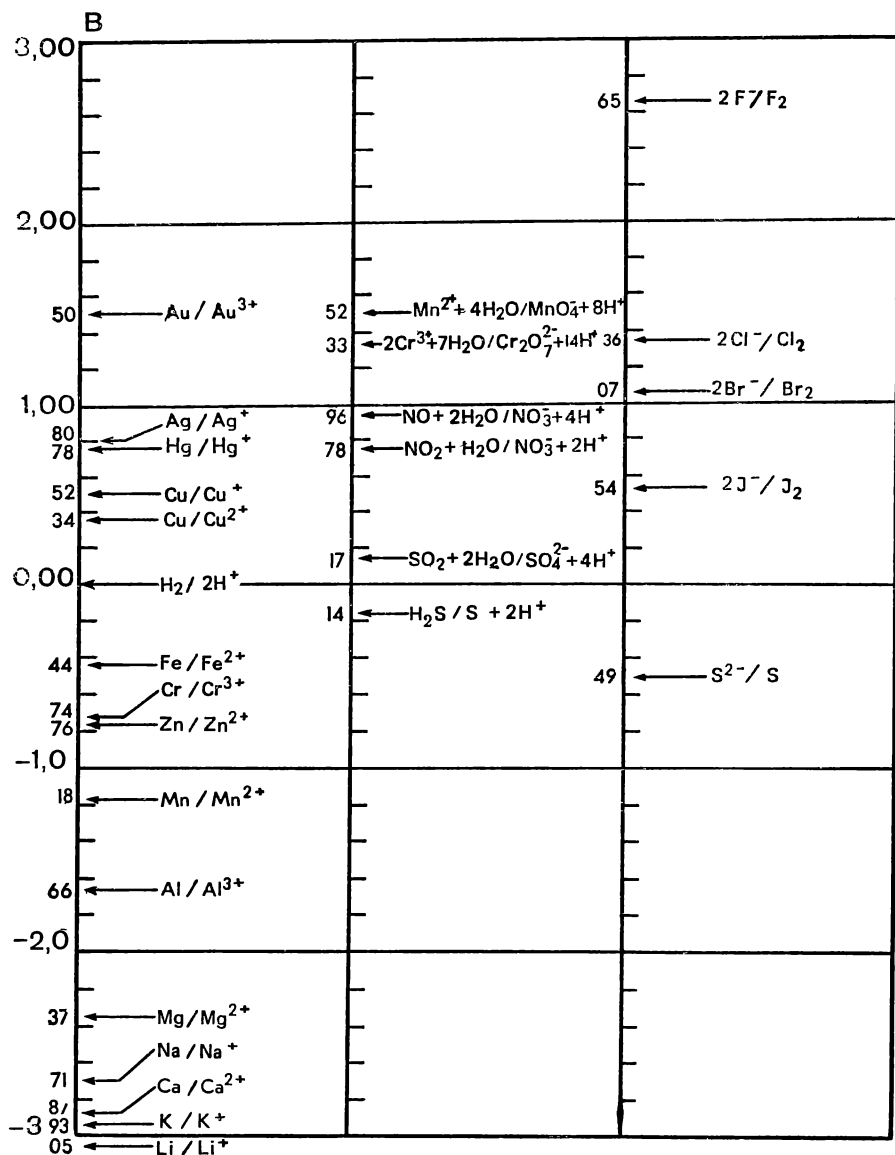
500 задач по химии / Гудкова А. С., Ефремова К. М., Магдеева Н. Н. и др. М.: Просвещение, 1981.

Третьяков Ю. Д., Метлин Ю. Г. Основы общей химии. М.: Просвещение, 1985.

Химия. Справочные материалы / Третьяков Ю. Д., Дайнеко В. Н., Казимирчик И. В. и др. М.: Просвещение, 1984.

Таблица 1.

Стандартные окислительно-восстановительные потенциалы.



Энтальпии образования при 25 °С (298 °К)¹.

Вещество	$\Delta H_{\text{обр}}$ (кДж · моль ⁻¹)	Вещество	$\Delta H_{\text{обр}}$ (кДж · моль ⁻¹)
O ₂ (г)	0	N ₂ O ₅ (г)	13,3
O ₃ (г)	141,8	NH ₃ (г)	— 45,9
H ₂ O(г)	— 241,8	CO(г)	— 110,5
H ₂ O(ж)	— 285,8	CO ₂ (г)	— 393,5
F ₂ (г)	0	CH ₄ (г)	— 74,6
Cl ₂ (г)	0	C ₂ H ₄ (г)	52,4
Br ₂ (ж)	0	C ₂ H ₂ (г)	227,4
Br ₂ (г)	30,9	C (графит)	0
I ₂ (кр)	0	C (алмаз)	1,9
I ₂ (г)	62,4	C ₂ H ₆ (г)	— 84,0
HF(г)	— 273,3	CF ₄ (г)	— 933,2
HCl(г)	— 92,3	CCl ₄ (г)	— 95,6
HBr(г)	— 36,4	SiF ₄ (г)	— 1615,0
HI(г)	26,4	SiCl ₄ (г)	— 662,2
SO ₂ (г)	— 296,8	Al ₂ O ₃ (α, кр)	— 1675,7
SO ₃ (г)	— 395,9	CaO(кр)	— 635,1
H ₂ S(г)	— 20,6	CaCO ₃ (г)	— 1206,6
NO(г)	91,3	Ca(OH) ₂ (кр)	— 985,9
N ₂ O(г)	81,6	NaCl(кр)	— 411,3
NO ₂	33,9	KCl(кр)	— 436,5

¹ Данные взяты из справочника: Термодинамические свойства индивидуальных веществ / Под ред. акад. В. П. Глушко, т. 1—4, М., Наука, 1980—1984.

Растворимость солей и оснований в воде

Таблица 3

	I K	I Na	II Ba	II Ca	II Mg	III Al	III Cr	II Fe	III Fe	II Mn	II Zn	I Ag	I Hg	II Hg	II Cu	II Pb	III Bi	II Sn
OH(I)	р	р	р	м	м	н	н	н	н	н	н	—	—	—	н	н	н	н
Cl(I)	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	н	н	р	р	м	—	р
S(II)	р	р	р	м	р	—	—	н	—	н	н	н	н	н	н	н	н	н
SO ₃ (II)	р	р	н	н	н	—	—	н	—	н	н	н	н	н	н	н	н	—
SO ₄ (II)	р	р	н	м	р	р	р	р	р	р	р	м	м	р	р	н	р	р
PO ₄ (III)	р	р	н	н	н	н	н	н	н	н	н	н	н	н	н	н	н	н
CO ₃ (II)	р	р	н	н	н	—	—	н	н	н	н	н	н	н	н	н	н	—
SiO ₂ (II)	р	р	н	н	н	н	н	н	н	н	н	н	—	—	н	н	—	н
NO ₃ (I)	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	—
CH ₃ COO(I)	р	р	р	р	р	м	р	р	р	р	р	р	м	р	р	р	р	р

Глава I

§ 1.

1. $5,3 \cdot 10^{-23}$ г; $6,6 \cdot 10^{-23}$ г.
2. SO_2 .
3. Са (кальций).
4. $6,13 \cdot 10^{24}$ молекул H_2O .
5. CaCO_3 .
6. Образовалось 6 л N_2 ; осталось 11 л O_2 .
7. $\text{Mg} - 5 \cdot 10^{25}$; $\text{Pb} - 5,8 \cdot 10^{24}$.
8. HCN (циановодород).
9. NH_3 (аммиак).
10. H_2S (сероводород).
11. 1,71 г.
12. 1,53 г; 1,84 г Na_2CO_3 (0,017 моль).
13. Са (кальций).
14. ZrI_4 (иодид циркония).
15. H_2WO_4 .
16. LiH (гидрид лития); SiH_4 (силан); N_2H_4 (гидразин).
17. 44,4% Cu; 55,6% CuO.
18. Одинаковое.
19. 80% CO.
20. 13,8 г $\text{MgCO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (0,1 моль).

§ 2.

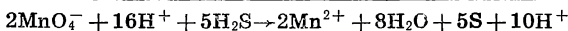
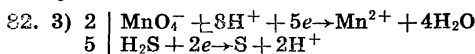
21. ${}^7\text{N} - 1s^2 2s^2 2p^3$; ${}^{14}\text{Si} - 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$;
 ${}^{24}\text{Cr} - 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5 4s^1$; ${}^{26}\text{Fe} - 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^6 4s^2$;
 ${}^{36}\text{Kr} - 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6$ (см. табл. 1 пособия Н. Е. Кузьменко, С. С. Чуранова «Общая и неорганическая химия», с. 57.).
22. Валентности элементов: $\text{V}(\text{F})=1$; $\text{V}(\text{Br})=1, 3, 5, 7$; $\text{V}(\text{O})=2$, $\text{V}(\text{Se})=$
 $=2, 4, 6$; $\text{V}(\text{Xe})=2, 4, 6, 8$.
24. См. § 4 гл. II пособия Н. Е. Кузьменко, С. С. Чуранова «Общая и неорганическая химия».
25. См. § 4 гл. II пособия Н. Е. Кузьменко, С. С. Чуранова «Общая и неорганическая химия».
29. Валентность — IV, степень окисления +5.
31. а) $\text{Mn} (+7)$; б) $\text{F} (-1)$, $\text{O} (+2)$; в) $\text{H} (+1)$; $\text{F} (-1)$; г) $\text{Fe} (+2)$,
 $\text{S} (-1)$; д) $\text{Fe} (+3)$; е) $\text{Fe} (+2)$; ж) $\text{Fe} (+8/3)$ — «формальная» степень
 окисления. Более точно нужно исходить из того, что Fe_3O_4 есть двойной
 оксид $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$, поэтому в Fe_3O_4 — $\text{Fe} (+2)$ и $\text{Fe} (+3)$; з) $\text{H} (+1)$;
 $\text{O} (-1)$; и) $\text{Mn} (+6)$; к) $\text{Cr} (+6)$.
32. См. § 1 гл. XI пособия Н. Е. Кузьменко, С. С. Чуранова «Общая и неорганическая химия».
33. См. задачу 3 на с. 19.
35. См. задачу 4 на с. 21.
37. См. § 10 гл. II пособия Н. Е. Кузьменко, С. С. Чуранова «Общая и неорганическая химия».
38. ${}^{56}\text{Mn}$; ${}^{12}\text{C}$.
39. 163,6 лет.
40. ${}^{234}\text{U}$.
41. ${}^{182}\text{W}$; ${}^{98}\text{Mo}$.
42. ${}^{210}_{84}\text{Po} \xrightarrow{\alpha} {}^{206}_{82}\text{Pb} + {}^4_2\text{He}$; ${}^{14}_7\text{N} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{17}_8\text{O} + {}^1_1\text{H}$.
43. 15,2 сут.
45. Ионный характер связи увеличивается от LiH к CsH .

§ 3.

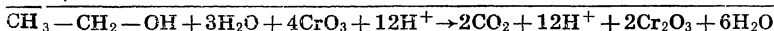
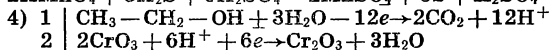
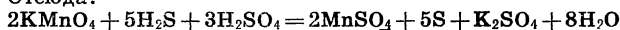
46. 77,1%.
47. 17,7 М.
48. 3,65 М.
49. 1,88%.
50. 14,6 г.
51. 21,15 г KNO_3 .
52. При охлаждении до 0°C концентрация KCl не достигает насыщения и соль в осадок не выпадает.
53. 7,6% FeSO_4 .
54. 378,6 г Na_2CO_3 .
55. 8,9% CaCl_2 .
56. 0,53% NaOH ; 4,56% Ba(OH)_2 ; 4,66 г BaSO_4 .
57. Реакции (а, в, г) идут до конца; реакции (д, е) не идут; реакция (б) идет до конца, если брать концентрированную кислоту и твердую соль, и не идет до конца, если брать растворы кислоты и соли.
59. Одинаковое.
60. Одинаковое.
61. Разное.
62. 1,6% Na_2CO_3 ; 9,1% NaCl .
63. 0,147%.
64. 45 г.
65. 0,9% HCl ; 1,36% H_2SO_4 .
66. 5,8% BaCl_2 ; 1,1% NaCl .
67. 9,96 М.
68. 0,375 М.
69. 14%; 4,1 М.
70. NaI — 0,35%; NaCl — 1,61%.
71. 25,2% HNO_3 ; 7,3% HCl .
73. Рассмотрите диссоциацию и гидролиз соединений.
74. $[\text{OH}^-] = 10^{-10}$ моль/л.
75. $[\text{Ag}^+] = 1,71 \cdot 10^{-3}$ моль/л.
76. $[\text{H}^+] = 3,55 \cdot 10^{-4}$ моль/л.
77. Азотистая кислота — слабая, степень ее диссоциации в указанных условиях — 2,16%.
78. 100 мл.
79. а) Нет; б) да.
- 80.



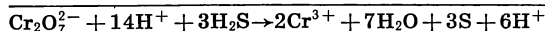
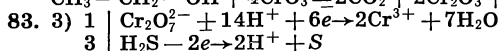
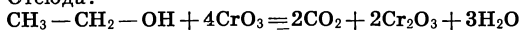
§ 4.



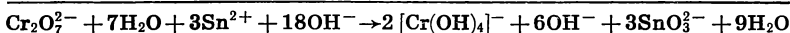
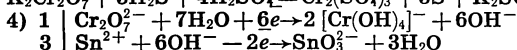
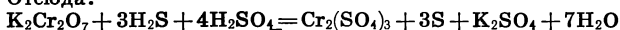
Отсюда:



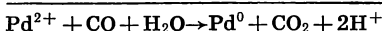
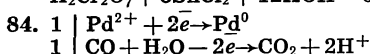
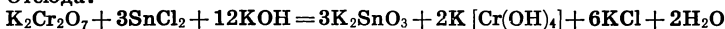
Отсюда:



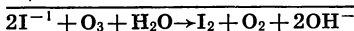
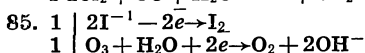
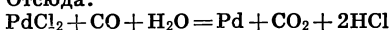
Отсюда:



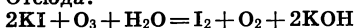
Отсюда:



Отсюда:



Отсюда:

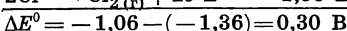
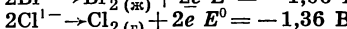
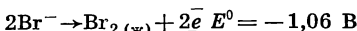
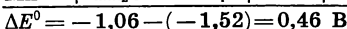
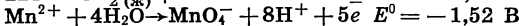


88. Любой металл, стоящий в ряду напряжений левее серебра и не взаимодействующий при обычных условиях с водой.

89. Для окисления ионов брома пригодны окислители, у которых электродные потенциалы полуреакции E^0 меньше, чем электродный потенциал полуреакции $2\text{Br}^- \rightleftharpoons \text{Br}_2(\text{ж}) + 2e$ (т. е. меньше 1,06 В).

Другими словами, для окисления Br^- нужно выбрать электродную реакцию, в которой отдача электронов происходит с большим трудом, чем в полуреакции $2\text{Br}^- \rightleftharpoons \text{Br}_2(\text{ж}) + 2e$. Среди перечисленных в таблице 1 (приложение) веществ этому условию отвечают только Cl_2 и MnO_4^- .

Действительно:



Убедитесь самостоятельно, пользуясь данными табл. 1 (приложение), что ионы Fe^{2+} и H^+ не способны окислить ионы Br^- .

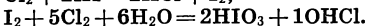
90. 1,463 л.

91. 33,6 л (KClO_3); 11,2 л (KMnO_4 , KNO_3 , HgO).

92. CaOCl_2 . Графическая формула $\text{Ca} \begin{array}{l} \text{O}-\text{Cl} \\ \text{Cl} \end{array}$

93. Фтор бурно реагирует с водой, полностью ее разлагая.

94. $\text{Cl}_2 + 2\text{KI} = 2\text{KCl} + \text{I}_2$;



Свободный иод в системе отсутствует.

95. Масса пластинок увеличится на 0,08 г.

96. 8,67 г CuSO_4 .

97. Cu — катод.

98. 198,8 г Cl_2 .

99. 108 г Ag ; 32 г Cu , по 8 г O_2 на анодах.

100. 0,093 г H_2 ; 3,31 г Cl_2 ; 2,7 г $\text{Mg}(\text{OH})_2$.

101. 2,4%.
 102. Масса пластинки стала равной 14,6 г; концентрация AgNO_3 — 16,3%.
 103. 11,02 г.
 104. 10% KNO_3 .
 105. 30% KCl ; $1/3$ моль KClO_3 , $5/3$ моль KCl .
 106. 1,12% CuSO_4 ; 3,07% H_2SO_4 ; 4 г Cu ; 1 г O_2 .
 107. 114 мл 40%-ного раствора NaOH ; на аноде 6,72 л O_2 .

§ 5.

109. Скорость образования O_2 увеличилась в 27 раз.
 110. В 3^6 (729) раз.
 111. В 4^7 раз ($\sim 1,6 \cdot 10^4$).
 112. а) Сместится влево; б) сместится вправо.
 113. а) Не смещает равновесия; б) смещает вправо; в) смещает влево.
 114. Сравните плотности графита и алмаза. См. § 6. гл. V пособия Н. Е. Кузьменко, С. С. Чуранова «Общая и неорганическая химия».
 115. $[\text{CO}] = 0,02$ моль/л; $[\text{H}_2\text{O}] = 0,32$ моль/л; $[\text{CO}_2] = 0,08$ моль/л; $[\text{H}_2] = 0,08$ моль/л.
 116. $Q_{\text{РН}_3} = -17,1$ кДж/моль.
 117. Ацетилено-кислородное пламя выделяет в 1,5 раза больше теплоты, чем метано-кислородное.
 118. 182,4 г термитной смеси.
 119. Исходная смесь содержала 0,2 моль Al (28%) и 0,06 моль Fe_3O_4 (72%); 66,6 кДж.
 120. См. § 6 гл. V пособия Н. Е. Кузьменко, С. С. Чуранова «Общая и неорганическая химия».

Глава II

§ 1.

121. Сульфид железа (II) FeS ; сульфит натрия Na_2SO_3 ; дигидрофосфат кальция $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$; перманганат калия KMnO_4 ; гипохлорит кальция $\text{Ca}(\text{OCl})_2$; хлорат натрия NaClO_3 ; гидроксохлорид магния $\text{Mg}(\text{OH})\text{Cl}$.
 123. $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ — семиводный кристаллогидрат сульфата цинка; NH_4NO_3 — нитрат аммония; $\text{Mg}(\text{OH})\text{Cl}$ — гидроксохлорид магния; CaOCl_2 — хлорид-гипохлорит кальция.
 124. Карбонаты, сульфиды и сульфиты солей трехзарядных катионов (Al^{3+} , Fe^{3+} , Cr^{3+}) очень сильно гидролизуются, причем их гидролиз увеличивается за счет удаления из растворов слабых, газообразных и неустойчивых кислот.
126. 1) $\text{CaCl}_2 \xrightarrow{\text{электролиз расплава}} \text{Ca} + \text{Cl}_2 \uparrow$;
 $2\text{Ca} + \text{O}_2 = 2\text{CaO}$; $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{OH})_2$;
 $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 = \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$;
 $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 = \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$;
 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 + 2\text{OH}^- = \text{CaCO}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$ или
 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$.
 4) $3\text{Cu} + 8\text{HNO}_3_{\text{разб}} = 3\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NO} + 4\text{H}_2\text{O}$;
 $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} = [\text{Cu}(\text{OH})]_2\text{CO}_3 + \text{CO}_2 \uparrow + 4\text{NaNO}_3$;
 $[\text{Cu}(\text{OH})]_2\text{CO}_3 \xrightarrow{t} 2\text{CuO} + \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$;
 $\text{CuO} + \text{H}_2 = \text{Cu} + \text{H}_2\text{O}$;
 $\text{Cu} + 2\text{H}_2\text{SO}_4 = \text{CuSO}_4 + \text{SO}_2 \uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$;
 $\text{CuSO}_4 + 5\text{H}_2\text{O} = \text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

§ 2.

127. 35 г.
128. $11,3 \cdot 10^4$ л H_2 ; $11,3 \cdot 10^4$ л Cl_2 .
129. NaH.
130. 2,56 г Cu; 4,4 мл 19,6%-ного раствора H_2SO_4 .
131. 45% H_2 ; 55% Cl_2 ; 4,8% KBr; 8,3% KI.

§ 3.

132. 0,05 л SO_2 , 1,95 л O_2 .
133. 0,112 л.
134. 100 г.
135. 46,4% $NaHSO_3$.
136. 0,224 л H_2S ; 0,896 л O_2 .
137. 20% H_2S ; 80% O_2 ; 2% H_2SO_3 .
138. 20,2 г $[Ba(OH)]_2SO_4$.

§ 4.

141. 0,284% O_2 .
142. 2,5 л Cl_2 или 2,5 л O_3 .
143. 7,1%.
144. а) с образованием O_2 — 66,7%; б) с образованием $KClO_4$ — 33,3%.
145. 0,87% $NaClO_3$; 2,4% $NaCl$, 54,6% O_2 ; 45,4% Cl_2 .
146. В исходной смеси 81,25% H_2 , 18,75% Cl_2 ;
в конечной смеси 3,75% Cl_2 , 29,9% HCl , 66,35% H_2 .
147. 13,4% KCl ; 0,7% $KClO_3$; 2,75% КОН.

§ 5.

150. 1,6% NaOH, 10% $NaNO_3$.
151. 12,5% NaOH, 6,48% $NaNO_3$, 5,26% $NaNO_2$.
152. P(A); 28,4 г P_2O_5 (B); H_3PO_4 (C); 9,15% $Ca(H_2PO_4)_2$.
153. 0,1 моль N_2 (17%); 0,3 моль H_2 (50%); 0,2 моль NH_3 (33%).
154. 22,6% $NH_4H_2PO_4$; 77,4% $(NH_4)_2HPO_4$.
155. 26,4% $(NH_4)_2HPO_4$.
156. 4,4% NaOH; 9,4% NaCl.
157. 25,3 мл 60%-ного раствора HNO_3 ; 7,5 л NO.
158. 18,5% H_3PO_4 .
159. 16% HPO_3 .
160. 0,1 моль (8,5 г) $NaNO_3$; 0,1 моль (12,0 г) NaH_2PO_4 , 0,1 моль (14,2 г) Na_2HPO_4 .
161. 0,1 моль (13,6 г) KH_2PO_4 ; 0,1 моль (17,4 г) K_2HPO_4 .
162. $\nu(HPO_3)/\nu(H_4P_2O_7)=8$.
163. 8,9% $H_4P_2O_7$.
164. 0,2 моль (6,2 г) P; 0,166 моль (20,4 г) $KClO_3$.
165. 52% NaN_2PO_4 .

§ 6.

167. 55% CO_2 и 45% CO.
168. 82,3%.
169. 13,1 мл.
170. 20 сут.
171. 15,2%.
172. 24,8 г P, 24 г C.
173. 5,6 л H_2 .
174. H_2SiO_3 ; 40 г 30%-ного раствора HF, если образуется H_2SiF_6 ; 26,7 г 30%-ного раствора, если образуется SiF_4 .
175. 2,8 г (0,1 моль) Si, 5,4 г (0,2 моль) Al, 5,6 г (0,1 моль) Fe.

§ 7.

- 178. 302 кг.
- 179. MgO .
- 180. 2,34 г NaCl , 2,98 г KCl .
- 181. 7 сут.
- 182. 0,745 г KCl (10,2%); 1,755 г NaCl (24%); 4,8 г NaHSO_4 (65,8%).
- 183. 2,98 г KCl ; 1,17 г NaCl ; 8,76% HCl .
- 184. 20,7% NaCl ; 7,54% NaClO_3 .
- 185. 10,1 г KF ; 31,5 г KCl .
- 186. 3,48 г $\text{MgCO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.
- 187. 30% Mg .
- 188. Ва (барий).
- 189. 0,1 М $\text{Ba}(\text{OH})_2$; 0,1 М $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$.

§ 8.

- 190. 7,89 г Al .
- 191. 50% Al ; 50% Cu .
- 192. 0,51 г Al_2O_3 .
- 193. 75,7% Fe ; 24,3% Al ; 11,0 мл HCl .
- 194. 52 г H_2SO_4 ; 41,2 г $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$; 20,5 г $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, 7,8 г $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$; 3,5 г K_2SO_4 ; 24,0 г $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$.
- 195. 90,9 мл 19,6%-ного раствора H_2SO_4 ; 19,2 г Cu .
- 196. 9,6 мл 40%-ного раствора NaOH ; 32% Cu ; 68% Al .
- 197. 0,2 г Cu .
- 198. 0,28 г Fe ; 2,72 г Cu .
- 199. Fe_3O_4 .
- 200. FeS .
- 201. 9,33% Fe ; 90,67% Cu ; 10 г (83,3%) H_2SO_4 ; 1 г (36,5%) HCl .
- 202. Fe ; 26,1 г MnO_2 ; 100 мл 37%-ного раствора HCl .
- 203. Образовался KOH ; его концентрация увеличилась на 8,7%.

§ 9.

- 204. 9,7%.
- 205. А — $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (0,1 моль — 29,4 г); В — NH_4Cl (0,2 моль — 10,7 г).
- 206. CuCl_2 .
- 207. 9,8% H_2SO_4 ; 18,9 HNO_3 .
- 208. Na_2SO_3 ; 19,7 г $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$; 3,85% примесей.
- 209. 0,36% HCl ; 0,81% HBr .
- 210. 23,9 г PbO_2 .
- 211. 31,6 г KMnO_4 ; 17,0 г H_2O_2 .
- 212. 0,34 г CuCl_2 .
- 213. 1,3%.
- 214. 3,7% KCl ; 6,3% MnCl_2 .
- 215. H_2SO_4 ; 32 г Cu .
- 216. FeS .
- 217. 29,4 г (0,1 моль) $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$.
- 218. ZnS .
- 219. 0,896 л NO ; 45 мл 20%-ной HNO_3 ; 96% Cu .
- 220. 2,24 г S .
- 221. $\omega(\%) (\text{HNO}_3) = \omega(\%) \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 = 9,2\%$.
- 222. 22,2% N_2 ; 66,7% H_2 ; 11,1% NH_3 .
- 223. 1,2 г газовой смеси.
- 224. 62,5 г $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; 27,74 мл 96%-ного раствора H_2SO_4 .
- 225. 25% CO ; 4 г CaCO_3 ; 75% CO_2 .
- 226. 29,2% HCl .
- 227. 5387 лет.
- 228. В избытке N_2 — 0,1 моль; образуется 23 г NH_4HSO_4 (17,9%-ный раствор).

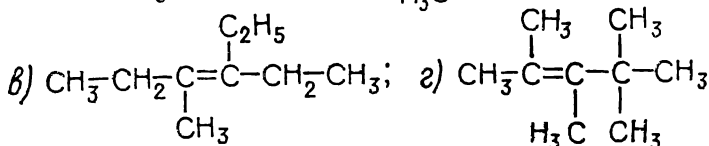
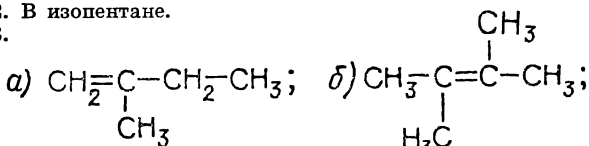
229. 80% CO; 20% H₂S.
 230. Смесь: 0,1 моль Fe, 0,2 моль Cu; MnO₂ — 0,3 моль (26,1 г); 121,66 г 36%-ного раствора HCl.
 231. 26 г (0,25 моль) NaHSO₃.
 232. 1,47 г (NH₄)₂HPO₄, т. е. 1,47%-ный раствор.
 233. А — NH₃ (0,2 моль); В — HCl (0,1 моль); С — NO (0,2 моль); D — NO₂ (0,2 моль); Е — NH₄Cl (0,1 моль).
 234. 8,96 л SO₂; 12,32 л O₂; 70,85%-ный раствор H₂SO₄.
 235. 0,15 г NaCl (21,4%); 0,55 г KCl (78,6%).
 236. 51,4% Al; 48,6% Al₂O₃.
 237. 5,55% KNO₃; 4,68% KNO₂; 49,2% P; 50,8% S.
 238. 16,35% NaNO₃; 13,26% NaNO₂; 6,36% HNO₃.
 239. 8,4 г NaHCO₃ (0,1 моль); 8,5 г NaNO₃ (0,1 моль); 7,1 г Na₂SO₄ (0,05 моль).

Глава III

240. C₆H₁₄; *n* — гексан, 2-метилпентан, 3-метилпентан, 2,3-диметилбутан, 2,2-диметилбутан.
 241. 2,2-диметилпентан (4, 2, 0, 1); 3,3-диметилпентан (4, 2, 0, 1); 2,3-диметилпентан (4, 1, 2, 0); 2,4-диметилпентан (4, 1, 2, 0); 3-этилпентан (3, 3, 1, 0).
 242. Да.
 243. $\text{CH}_3-\text{CH}_2\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\text{CH}_2\text{CH}_3$; $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$ или $\text{CH}_3-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\text{CH}_3$.
 244. C₅H₁₂.
 245. C₅H₁₂; C₉H₂₀; C₂₀H₄₂.
 246. CH_3CH_2- ; $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$; $\text{CH}_3-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-$;
 $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$; $\text{CH}_3-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}_2}-\text{CH}-$; $\text{CH}_3-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\text{CH}_2-$; $\text{CH}_3-\underset{\text{CH}_3}{\overset{\text{CH}_3}{\text{C}}}-$.
 247.
 а) $\text{CH}_3-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$; б) $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_2\text{CH}_3}{\text{CH}}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$;
 в) $\text{CH}_3-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_2\text{CH}_3}{\text{CH}}-\text{CH}_2\text{CH}_3$; г) $\text{CH}_3-\underset{\text{CH}_3}{\overset{\text{CH}_3}{\text{C}}}-\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\text{CH}_3$;
 д) $\text{CH}_3-\underset{\text{CH}_3}{\overset{\text{CH}_3}{\text{C}}}-\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\overset{\text{CH}_3}{\text{C}}}-\text{CH}_3$.

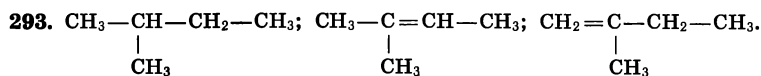
248. Названия (а) и (б) не отвечают правилам, название (в) — правильное.
 249. Идентичными являются соединения (а) и (г); (б) и (в).

250. $M_r = 100$. C_7H_{16} (5 изомерных гептанов, см. ответ к задаче 241).
 251. 2, 2, 3, 3-Тетраметилбутан.
 252. 83,33% C; 16,67% H.
 253. 9,82 г.
 254. 44 г, пропан.
 255. 2, 2, 4-Триметилпентан (изооктан).
 256. $D_{H_2} = 15$; $D_{вод} = 1,03$.
 257. Изомерные бутаны.
 258. n — Бутан, 2,3-диметилбутан, 3,4-диметилгексан.
 259. Каталитическое гидрирование пропилена; сплавление Na-соли n -масляной кислоты со щелочью.
 260. 2,93 л.
 261. Образуется смесь трех углеводородов: а) этана, пропана, n -бутана; б) n -бутана, 2-метилбутана, 3,3-диметилбутана; в) этана, n -бутана, n -гексана.
 262. Пропана 3,36 л; CO_2 6,72 л; воды 7,2 г.
 263. 2-Метилпропан.
 264. 688 мл 8%-ного раствора NaOH.
 265. C_5H_{14} .
 266. 38,5 г CCl_4 .
 267. 33,6 л CO_2 .
 268. 6,4 л CH_4 .
 269. 1,1-Дихлорпропан, 2,2-дихлорпропан, 1,2-дихлорпропан; 1,3-дихлорпропан.
 270. 1-Бромбутан, 2-бромбутан.
 271. 13,75 г.
 272. 94,64% C.
 273. Изобутан C_4H_{10} .
 274. C_6H_{14} , 2,2-диметилбутан.
 275. CH_2Cl_2 .
 276. 9875 л.
 277. C_2Cl_6 .
 278. 4 атома водорода.
 279. 291 мл.
 280. 40% CO_2 ; 20,8% CO; 39,2% CH_4 .
 281. Этан.
 282. В изопентане.
 283.

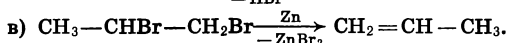
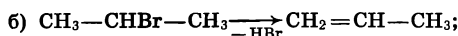
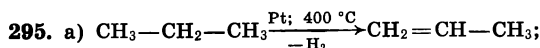


284. $CH_2=CH-CH_2CH_3$ бутен-1; $CH_3CH=CH-CH_3$ *цис*- и *транс*-бутен-2; $(CH_3)_2C=CH_2$ 2-метилпропен (изобутилен).
 285. $CH_3-CH=CH-$; $CH_3-C(CH_3)=CH_2$; $CH_2=CH-CH_2-$.
 286. Пентен-1, пентен-2 (*цис*- и *транс*-), 3-метилбутен-1, 2-метилбутен-2, 2-метилбутен-1.
 287. 2,4,4-Триметилпропен-2, 2,4,4-триметилпентен-1.
 288. Четыре изомерных бутена, циклобутан, метилциклопропан.
 289. C_6H_{12} ; C_8H_{16} ; $C_{10}H_{20}$.
 290. 3, 3-Диметилбутен-1.
 291. 85,72% C; 14,28% H.

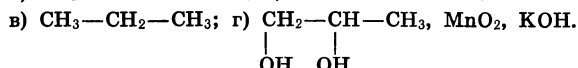
292. 7,5 г.



294. 61,7%.



296. $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_3 + \text{Br}_2 \rightarrow \text{CH}_2\text{BrCHBrCH}_3$. Пропан не будет реагировать с бромом при пропускании смеси через бромную воду.



298. 40 г Br_2 .

299. Реакцией с KMnO_4 или бромной водой.

300. По обесцвечиванию раствора брома в CCl_4 .

301. *цис*-Пентен-2.

302. 56 г/моль, углеводород C_4H_8 (4 изомера).

303. 75% пропана и 25% пропилена (по объему).

304. C_4H_8 (4 изомера).

305. По обесцвечиванию бромной воды или изменению окраски раствора перманганата.

306. 24,8 г этиленгликоля.

307. 40% этилена и 60% пропана (по объему).

308. 28 л H_2 . Бутен-2; 2,3-дихлорбутан.

309. Бутен-2, бутанол-2; состав смеси: 32,4% *n*-бутана и 67,6% бутена-2.

310. 5,95 л H_2 .

311. 33,3% пропилена и 66,7% H_2 .

312. 7,5 г пропанола.

313. ~40 мл 96%-ного этанола.

314. 67,5 кг дивинила.

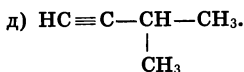
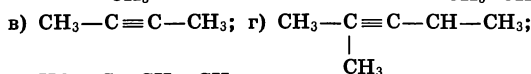
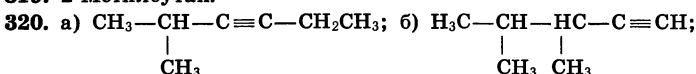
315. Пропана 60%; пропилена 40% (по объему).

316. Этилен, пропилен, бутены, пентены.

317. Этанол.

318. Четыре изомерных бутилена.

319. 2-Метилбутан.



321. Пентин-1, пентин-2, 3-метилбутин-1.

322. 4-Метилпентин-1, 4-метилпентин-2.

323. 3-Этилпентин-1, 4,4-диметилпентин-2, 4,4-диметилпентин-1, 3,4-диметилпентин-1, 3,3-диметилпентин-1.

324. Гексин-1, гексин-2, гексин-3, 4-метилпентин-1, 4-метилпентин-2, 3-метилпентин-1, 3,3-диметилбутин-1.

325. Изомеры: (а), (б), (в), (д), (е).

Гомологи: соединение (г) (молекулярная формула C_8H_{14}) с каждым

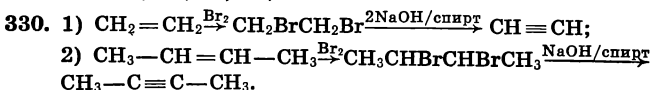
из изомеров состава C_6H_{10} . Идентичны: соединения (а) и (в); (б) и (д).

326. C_4H_6 ; C_6H_{10} ; C_9H_{16} .

327. 4,4-Диметилпентин-1, 4,4-диметилпентин-2, 3,3-диметилпентин-1.

328. Бутин-1 и бутин-2; 88,88% С; 11,12% Н.

329. 30,35 г; 24,1 г; 36,60 г.



331. 21,4 г.

332. 14,28%.

333. 25 г CaC_2 .

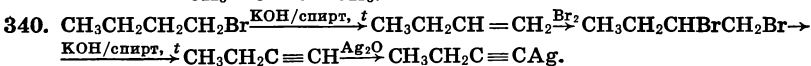
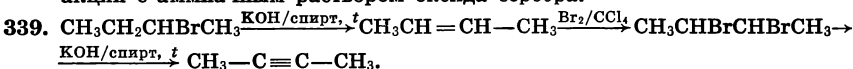
334. 3,2 г CaC_2 ; 70%.

335. Реакцией с аммиачным раствором оксида серебра. Прореагирует только бутин-1 и даст осадок, останется бутин-2.

336. Общее: реакции электрофильного присоединения. Различие: в ацетиленовых водород, стоящий у углерода, связанного тройной связью, замещается на Na, Ag, Cu.

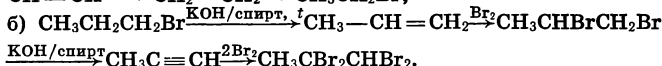
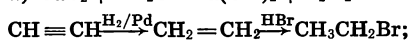
337. Реакцией с аммиачным раствором оксида серебра; с ним бутин-1 дает осадок, а бутадиен-1,3 не реагирует.

338. Реакцией присоединения брома можно узнать, есть ли в смеси этиленовый или ацетиленовый углеводород (по обесцвечиванию бромной воды). Различить ацетиленовый и этиленовый углеводороды можно по реакции с аммиачным раствором оксида серебра.

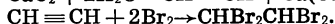
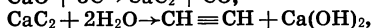
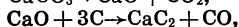


341. C_3H_4 ; $C_3H_4 + 4O_2 \rightarrow 3CO_2 + 2H_2O$; 112 л воздуха.

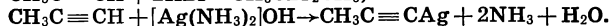
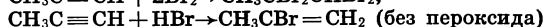
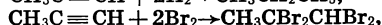
342. а) $CaC_2 + 2H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + C_2H_2$



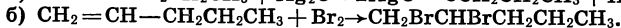
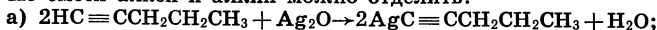
343. $CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$,



344. $CH_3C \equiv CH + 2H_2 \rightarrow CH_3CH_2CH_3$,



345. Из смеси алкен и алкин можно отделить:



Предельный углеводород не вступает в вышеуказанные реакции и может быть выделен.

346. 4,4-Диметилпентин-2.

347. Бутадиен-1,3.

348. 20% этана; 20% этилена; 60% ацетилена.

349. 41,65% пропина; 58,35% пропилена (по массе).

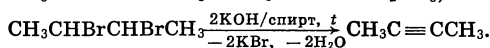
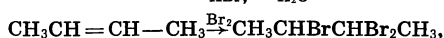
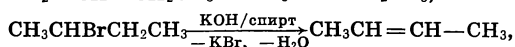
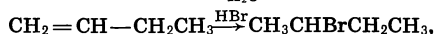
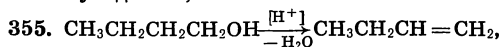
350. Бутин-2 33,3%; H_2 66,7%.

351. 1,12 л ацетилена; 5,88 л этана.

352. В 2 раза.

353. 32 г Br_2 .

354. Бутадиен-1,3.

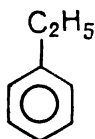


356. 3,4-Диметилпентин-1.

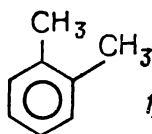
357. 3,3-Диметилбутин-1.

358. C_5H_{10} .

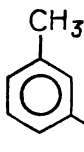
359.



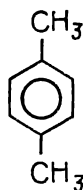
этилбензол;



1,2-диметилбензол
(орто-ксилол);

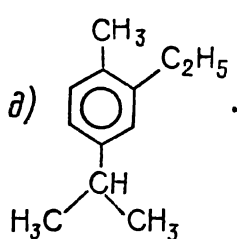
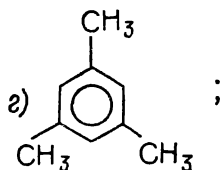
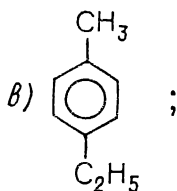
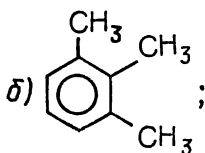
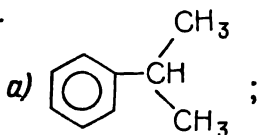


1,3-диметилбензол
(мета-ксилол)



1,4-диметилбензол
(пара-ксилол)

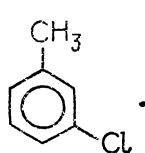
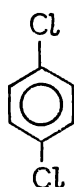
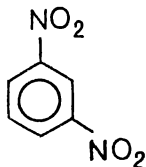
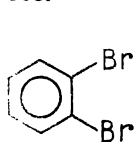
360.



361. о-, м-, п-Ксилолы.

362. о-, м-, п-Хлортолуолы.

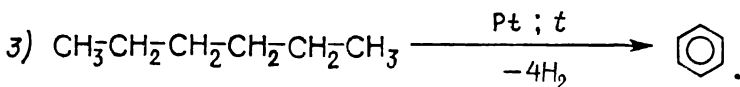
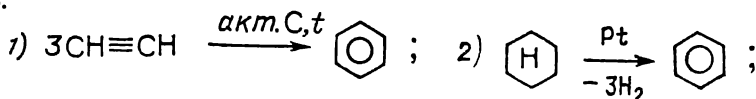
363.



364. Наличие устойчивой ароматической л-системы.

365. Реакцией с бромной водой либо перегонкой

366.



367. Этилбензол, бензойная кислота.

368. а) Бензойная кислота; б) терефталевая кислота.

369. 50%.

370. 89,6 л Cl_2 .

371. 145,4 мл 10%-ного раствора NaOH .

372. 72,75 г гексахлорана.

373. Избыток брома 21 г; 314 г бромбензола.

374. 67,2 г динитробензола.

375. 26,1 г MnO_2 .

376. 60% бензола; 20% циклогексана; 20% циклогексена.

377. 37% толуола; 63% бензола.

378. 27,4 г 2-метил-2-бромпропана.

379. 31,95% циклогексана, 34,45% циклогексена, 33,60% бензола.

380. 50,5% циклогексана; 49,5% циклогексена.

381. 56 л H_2 , стирол (фенилэтилен).

382. 25% бензола.

383. 8,96 г этилциклогексана; 8,96 л H_2 .

384. 25,2 л H_2 .

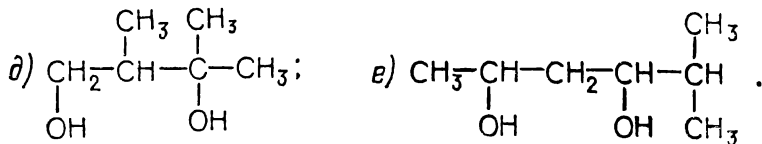
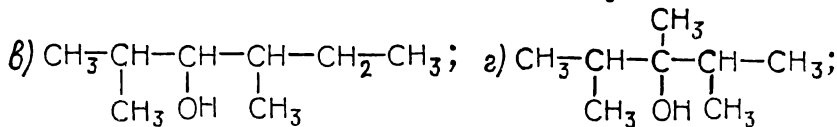
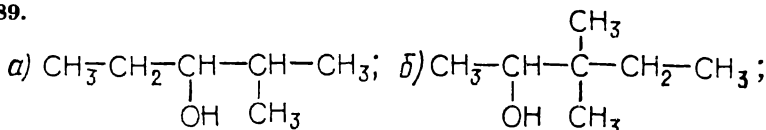
385. 25 г *n*-гептана; 23 г толуола.

386. Толуол, бензойная кислота.

387. Бутанол-1 (первичный); бутанол-2 (вторичный); 2-метилпропанол-1 (первичный); 2-метилпропанол-2 (третичный).

388. Пентанол-1; 2-метилбутанол-1; 3-метилбутанол-1; 2,2-диметилпропанол-1.

389.

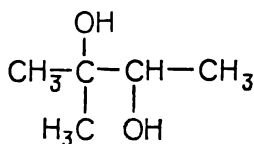


390. 2,3-Диметилпентанол-3.

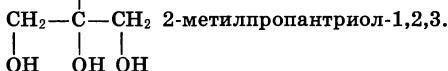
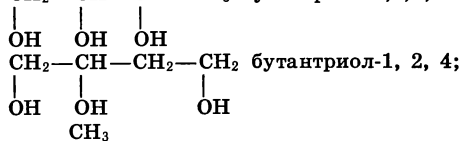
391. 3 изомерных третичных спирта состава $\text{C}_5\text{H}_{13}\text{OH}$.

392. 6 изомерных двухатомных спиртов состава $\text{C}_4\text{H}_8(\text{OH})_2$.

393.



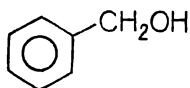
394. Пропандиол-1,2; пропандиол-1,3.

395. $\text{CH}_2 - \text{CH} - \text{CH} - \text{CH}_3$ бутантриол-1,2,3;

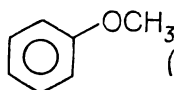
396. 2-; 3-; 4-Метилфенолы.

397. 6 изомерных дибромфенолов.

398. 1,2-, 1,3-, 1,4-Метилфенолы,



(спирт);



(эфир).

399. Этанол < этиленгликоль < глицерин.

400. Молекулы спиртов ассоциированы за счет образования межмолекулярных водородных связей, поэтому они имеют температуру кипения значительно выше, чем соответствующие углеводороды.

401. Реакция с водным раствором щелочи; реагируют только фенолы.

402. Реакцией с $\text{Cu}(\text{OH})_2$ в присутствии NaOH .403. $(\text{CH}_3)_3\text{COH} < \text{CH}_3 - \text{CH} - \text{CH}_2\text{CH}_3 < \text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$.

$\begin{array}{c} \text{OH} \\ | \end{array}$
 Легче замещается на бром OH- группа в *трет*-бутаноле.

404. 100%-ный этанол. Денатурированный спирт-сырец, к которому добавлены вещества с неприятным запахом и вкусом.

405. 1) Сбраживание пищевого сырья; 2) гидролиз древесины; 3) гидратация этилена.

406. 280 — 300 °С, 7100—8100 кПа, катализатор $\text{H}_3\text{PO}_4/\text{C}$, диэтиловый эфир.

407. Последовательно: дегидратацией, а затем гидратацией образующегося пропилена.

408. а) $\text{CO} + \text{H}_2 \xrightarrow{\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{ZnO}, 350^\circ\text{C}} \text{CH}_3\text{OH}$;б) $2\text{CH}_4 + \text{O}_2 \xrightarrow{\text{катализатор}} 2\text{CH}_3\text{OH}$.

409. Жиры.

410. 22,4 л этилена.

411. 52,7 г KMnO_4 .412. 4,6 г глицерина и 45,9 г $\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COONa}$.413. 552 г жира; 545,4 мл 10%-ного раствора NaOH ; 456 г мыла.414. 44,8 м³ H_2 ; 48 кг С; 72 л воды.415. 33,6 л O_2 ; 100 г CaCO_3 .

416. Этанол.

417. Бутанол-2.

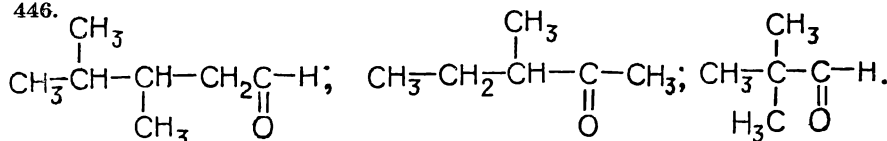
418. 2,3 г Na, 47,8 г этанола.

419. CH_3OH .420. Пропанол-1; 60 мл, 48%-ный раствор HBr ; 1-бромпропан.

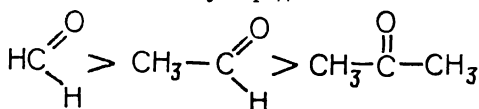
421. Пропанол-1 или пропанол-2.

422. 80%.

423. Бутанол-1 или 2-метилпропанол-1.
 424. 29,44 г или 36,8 мл этанола.
 425. Пропанол-1.
 426. Пропанол-1.
 427. 12 г пропанола-1.
 428. Метанол и этанол.
 429. 19,2 г метанола; 9,2 г этанола.
 430. 40 г смеси пропанола-1 и пропанола-2.
 431. Пропанол-1.
 432. 2-Метилбутанол-2.
 433. Этиленгликоль.
 434. Толуол.
 435. Метанола 49,5%; фенола 50,5%.
 436. 222 мл 9,4%-ного раствора.
 437. 40,6% этанола, 59,4% фенола.
 438. Фенола 4,7 г, уксусной кислоты 3 г.
 439. Фенола 4,7 г, этанола 11,5 г.
 440. 40,4% этанола, 59,6% фенола.
 441. Пропанол-2.
 442. Пентен-2.
 443. Этанол; 19,8 г 1,2-дихлорэтана.
 444. Пентаналь, 2-метилбутаналь, 3-метилбутаналь, 2,2-диметилпропаналь.
 445. Да.
 446.



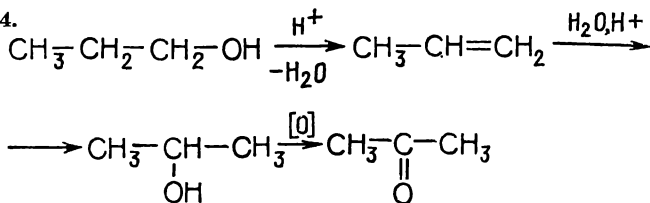
447. Раствор формальдегида в воде; массовая доля его в растворе 40%.
 448. Потребуется: 10 г (или 7,46 л) формальдегида; 15 мл H_2O .
 449. Ацетон и пропаналь.
 450. Реакции с раствором $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{OH}$ и с фелинговой жидкостью (дают только альдегиды).
 451. В альдегидах и кетонах, в отличие от спиртов, нет межмолекулярной ассоциации (отсутствуют межмолекулярные водородные связи).
 452. Индуктивный эффект CH_3 -группы уменьшает частичный заряд на карбонильном атоме углерода:



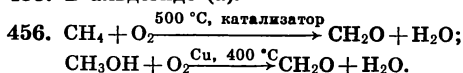
453.



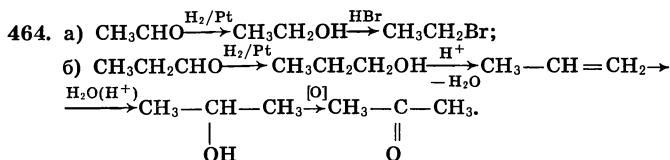
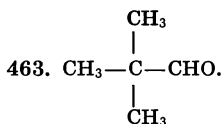
454.



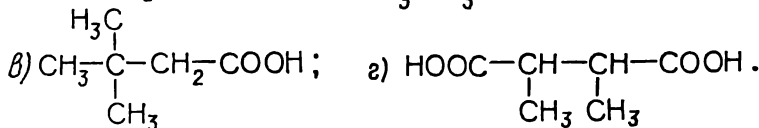
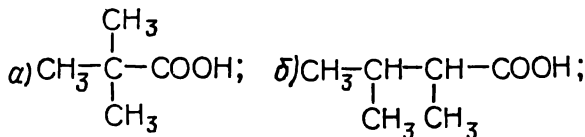
455. В альдегиде (а).



457. Бутанола-2.
 458. 1,1-Дихлорбутан.
 459. Полиэтилен (полимеризация), фенолформальдегидная смола (поликонденсация).
 460. а) Бутин-1; б) 3-метилбутин-1; в) ацетилен.
 461. 61,5 г *n*-пропилбромиды.
 462. Бутанол-2.



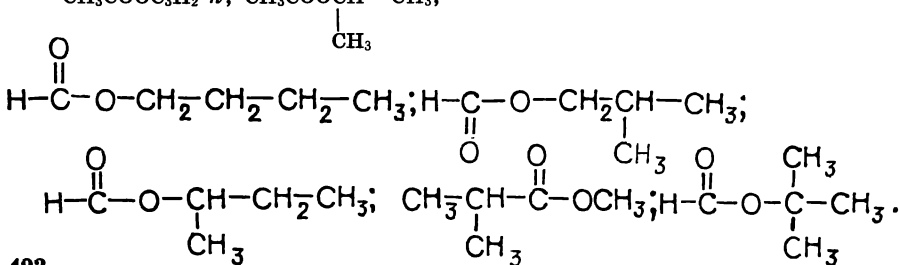
465. 21,6 г Ag.
 466. 61,2 г изопропилового эфира уксусной кислоты.
 467. Метанол, муравьиная кислота.
 468. 24 г пропанола-1.
 469. 50 г 80%-ного раствора CuC_2 .
 470. 7 л O_2 .
 471. Пентанон-3.
 472. Этанол; 50%; этилацетат.
 473. 12% примесей; 88%.
 474. 2000 г/моль.
 475. 0,6 г пропанола-1.
 476. 56 л CH_4 ; 54 мл H_2O .
 477. 1 моль CaC_2 .
 478. 40 г технического CaC_2 .
 479. Один из изомерных первичных гексиловых спиртов. Состав смеси: $\text{C}_5\text{H}_{11}\text{CH}_2\text{OH}$ — 5,1 г; $\text{C}_5\text{H}_{11}\text{CHO}$ — 10 г; $\text{C}_5\text{H}_{11}\text{COOH}$ — 17,4 г (по 8 изомеров каждого соединения).
 480. 20 г CaO ; 10 г угля.
 481. а) Превращением в пентаацетат (действием уксусного ангидрида), метилированием CH_3I в присутствии NaOH ; б) реакцией серебряного зеркала.
 482. 45 г глюкозы; спиртовое и молочнокислое брожение.
 483. 90%; молочная кислота — $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COOH}$.
 484. 85,5 г сахарозы.
 485. 166,45 кг бутадиена-1,3.
 486. 6,48 кг древесных опилок.
 487. а) ~3621; б) ~46602.
 488.



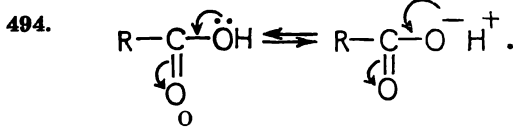
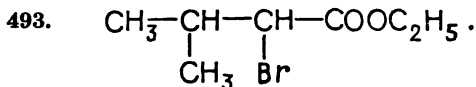
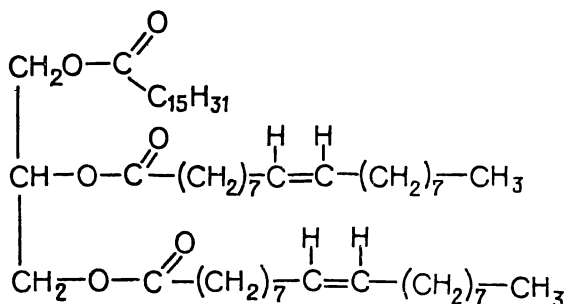
489. Пентандиовая кислота; 2-метилбутадиовая кислота.

490. 2-Метилгексановая кислота, 3-метилгексановая кислота, 4-метилгексановая кислота, 5-метилгексановая кислота.

491. 9 изомерных эфиров: $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{COOCH}_3$; $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{COOC}_2\text{H}_5$; $\text{CH}_3\text{COOC}_3\text{H}_7$ и; $\text{CH}_3\text{COOCH}(\text{CH}_3)-\text{CH}_3$;



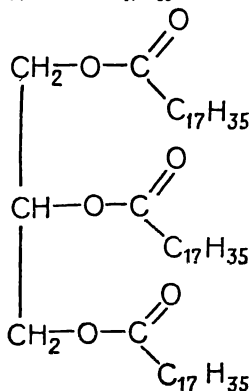
492.



495. $\text{Cl}-\text{CH}_2-\text{C}(=\text{O})-\text{OH}$. Действие индуктивного эффекта атома хлора.

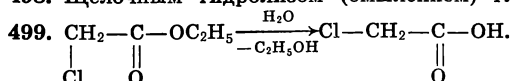
496. Олеиновая $\text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{COOH}$ (цис-изомер);
элаидиновая $\text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{COOH}$ (транс-изомер).

497.

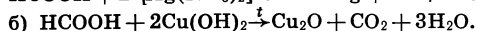


Консистенция жиров зависит от характера входящих в них кислот. Если преобладают кислоты предельные, то цепи легко укладываются в кристаллическую решетку и жир будет твердым.

498. Щелочным гидролизом (омылением) глицерида стеариновой кислоты.



500. а) Реакцию серебряного зеркала дает муравьиная кислота.
 $\text{HCOOH} + 2 [\text{Ag}(\text{NH}_3)_2] \text{OH} \rightarrow 2\text{Ag} + \text{NH}_4\text{HCO}_3 + 3\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O};$



501. Реакциями, характерными для соединений с двойной связью.

502. Триглицерид олеиновой кислоты.

503. $\text{CH}_3\text{COO}(\text{CH}_2)_4\text{CH}_3.$

504. $\text{C}_{15}\text{H}_{31}\text{COOC}_{30}\text{H}_{61}.$

505. Оно превращается в органическую кислоту, которая не растворяется в воде.

506. Na- и K-соли высших одноосновных кислот — пальмитиновой и стеариновой.

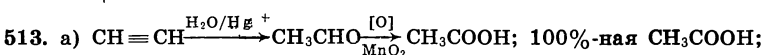
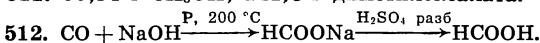
507. $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOCH}_3.$



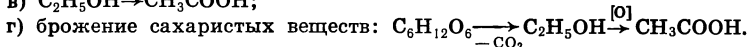
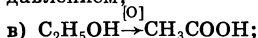
509. 30,72 кг $\text{CH}_3\text{COOH}.$

510. а) 2-Метилпропанол-1; б) 2-хлорпропанол-1; в) 2,2-диметилпропанол-1.

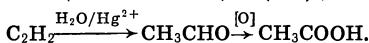
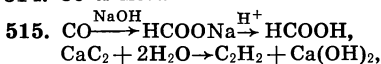
511. 99,84 г CH_3OH ; 141,6 г диметиллоксалата.



б) при окислении предельных углеводородов в паровой фазе под давлением;



514. 80 л метанола.



516. Растворить смесь в щелочи, экстрагировать спирт эфиром, а затем водный слой подкислить соляной кислотой и отделить масляную кислоту.

517. 4,4 г $\text{CH}_3\text{CHO}.$

518. 11,5 г этанола, $\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5$; $\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}$ (один из изомеров).

519. 1,42% альдегида; 1,5% спирта.

520. а) $\text{CH}_3\text{COOH} < \text{HCOOH};$

б) $\text{ClCH}_2\text{COOH} < \text{CHCl}_2\text{COOH} < \text{CCl}_3\text{COOH};$

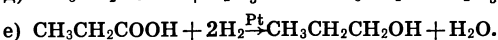
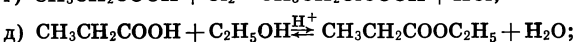
в) $\text{CH}_3\text{COOH} < \text{CH}_2\text{ClCOOH} < \text{CH}_2\text{BrCOOH}.$

521. а) $2\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH} + \text{CaCO}_3 \rightarrow (\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COO})_2\text{Ca} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2;$

б) $2\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH} + \text{CaO} \rightarrow (\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COO})_2\text{Ca} + \text{H}_2\text{O};$

в) $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH} + \text{NaOH} \rightarrow \text{CH}_3\text{CH}_2\text{COONa} + \text{H}_2\text{O};$

г) $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{CH}_2\text{ClCOOH} + \text{HCl};$



522. 80%. Состав смеси: 53,5% спирта и 46,5% кислоты.

523. $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}.$

524. $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOC}_2\text{H}_5.$

525. 63% бензола; 37% толуола.

526. 45,9 г стеарата Na; 4,6 г глицерина.

527. 35,2 г изомасляной кислоты; 37 г 2-метилпропанола-1.

528. Метанол; муравьиная кислота.
529. 16,4 г CH_3COONa ; избыток щелочи.
530. Мезитилен (1,3,5-триметилбензол).
531. 10,6 г этилбензола; бензойная кислота.
532. $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$.
533. 83,34% этанола; 16,66% муравьиной кислоты.
534. 28,8 мл этанола.
535. 11,2 л CO_2 ; $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$.
536. $\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5 + \text{H}_2^{18}\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{CO}^{18}\text{OH} + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$.
537. Бутанол-1 или 2-метилпропанол-1 ($\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$).
538. Бутанамин-1; бутанамин-2; 2-метилпропанамин-2; 2-метилпропанамин-1.
539. Метилдиэтиламин; диметилпропиламин; изопропилдиметиламин.
540. *о*-, *м*-, *п*-Метиланилин; метилфениламин, бензиламин.
541. а) $\text{CH}_3-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}-\text{CH}_3$; б) $\text{CH}_3\text{CH}-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}_2\text{NH}_2}$; в) $[(\text{CH}_3)_2\text{NC}_3\text{H}_7]^+\text{Br}^-$.
542. а) Триметиламин (третичный); б) метилэтиламин (вторичный); в) этиламин (первичный); 2) *трет*-бутиламин (первичный).
543. Первичные (а) и (в); вторичные (б); третичный (г).
а) $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NO}_2$ —1-нитробутан; б) $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}_2\text{NO}_2$ —2-нитробутан;
в) $\text{CH}_3-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\text{CH}_2\text{NO}_2$ —2-метил-1-нитропропан; г) $(\text{CH}_3)_3\text{C}-\text{NO}_2$ —
2-метил-2-нитропропан.
544. 5 изомеров:
 $\text{CH}_3-\underset{\text{NH}_3^+}{\text{CH}_2}-\underset{\text{NH}_3^+}{\text{CH}}-\text{COO}^-$; $\text{CH}_3-\underset{\text{NH}_3^+}{\text{CH}}-\text{CH}_2-\text{COO}^-$; $\text{CH}_2=\underset{\text{NH}_3^+}{\text{CH}}-\text{CH}_2-\text{COO}^-$;
 $(\text{CH}_3)_2\text{C}=\underset{\text{NH}_3^+}{\text{CH}}-\text{COO}^-$; $\text{CH}_2=\underset{\text{NH}_3^+}{\text{CH}}-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\text{COO}^-$.
545. *о*-, *м*-, *п*-Аминобензойные кислоты.
546. а) $\text{CH}_2=\underset{\text{NH}_3^+}{\text{CH}}-\text{CH}_2-\text{COO}^-$; б) $\text{CH}_3-\underset{\text{NH}_3^+}{\text{CH}}-\text{CH}_2-\text{COO}^-$;
в) $\text{CH}_2=\underset{\text{NH}_3^+}{\text{CH}}-\underset{\text{COO}^-}{\text{C}_6\text{H}_4}$;
г) $\text{CH}_2=\underset{\text{NH}_3^+}{\text{CH}}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{COO}^-$.
547. а) Сложный эфир; б) нитросоединение; в) амин; г) амин; д) амид; е) α -аминокислота; ж) лактам.
548. а) Бутанамин-2; б) анилин; в) *N*-метилпропанамин-2.
549. а) 2-Нитропропан; б) *n*-нитротолуол; в) нитроэтан.
550. 51,5 г 2-нитробутана.
551. 156 г бензола.
552. 15,19 г амина; 1,3,5-триметилбензол; 1,3,5-триметилнитробензол.
553. Толуол.
554. 30% пропана, 70% метиламина; 34,45 л O_2 .
555. Состав смеси: 18,6% анилина; 47% фенола; 34,4% толуола.
556. Нужно взять 44,6 г исходной смеси спиртов. В исходной смеси было 4,6 г этанола и 12 г пропанола.
557. 81,5 г; диметиламин.
558. Метилэфир аминокислоты.

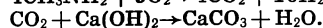
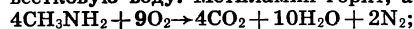
559. 13,35 г α -аминопропионовой кислоты и 2,95 г амина состава $C_3H_7NH_2$ (*n*-пропиламин или изопропиламин).

560. Реакцией с соляной кислотой:

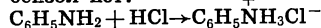
$C_4H_9NH_2 + HCl \rightarrow (C_4H_9NH_3)^+ Cl^-$, соль перейдет в раствор, амин в этил-ацетате будет в верхнем слое, его отделить.

561. Реакцией с HCl (см. 560).

562. Сжечь каждое вещество и пропустить образующиеся газы в известковую воду. Метиламин горит, а аммиак нет:



563. Реакцией с соляной кислотой: анилин в ней растворится, а нитробензол нет:

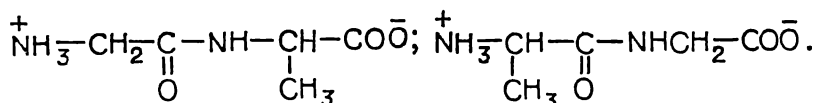


564. 63 л.

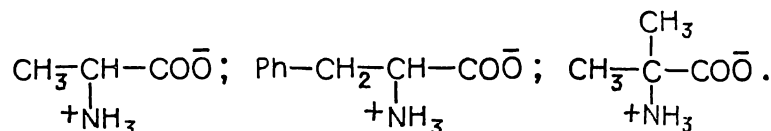
565. 18,2 мл.

566. 50% бензола, 30% анилина, 20% фенола.

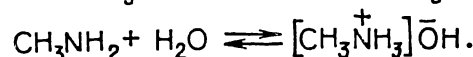
567.



568.

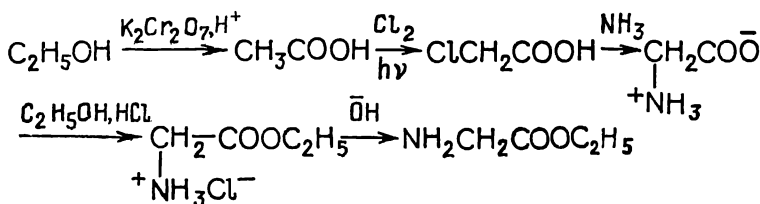


569.

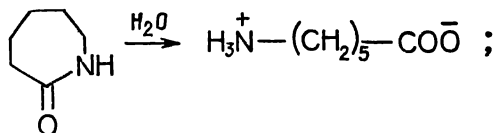


570. Вследствие взаимодействия свободной электронной пары азота с π -электронами бензольного кольца.

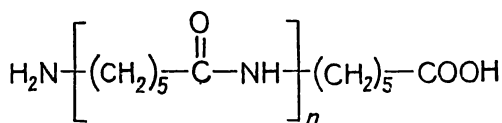
571.



572.



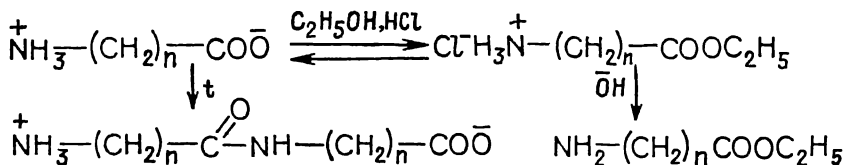
Капролактам



Капрон

Полиамидную смолу плавят и вытягивают через фильеры, чтобы упорядочить ориентацию молекул.

573.



574. 43,5 г.

575. 37,2% анилина, 5,64% фенола, 57,16% бензола.

576. $\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2$; 4,96 л HCl.

577. 19,4 г соли. В избытке взят NaOH.

578. 17,85 г анилина.

579. 13,78 г или 9,98 л CH_3NH_2 и 51,6 г анилина.

580. 16,2 г глюкозы.

581. 8,9 г аланина.

582. 156,4 л.

583. 0,5 л.

584. 4% KBr; 96% KI.

585. 37,8% $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$; 62,2% $(\text{NH}_4)\text{HCO}_3$.

586. 6,45% SO_2 ; 35,5% O_2 ; 58,5% SO_3 .

587. 10% KNO_3 .

588. 8 г Cu; 2 г O_2 ; 3,1% H_2SO_4 ; 1,12% CuSO_4 .

589. 28,1% HNO_3 ; 1,3% NaNO_3 ; 0,12% NaCl.

590. 2,7% AgNO_3 .

591. 7,55% AgNO_3 ; 5,5% $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$.

592. 1,3% NH_4HSO_4 ; 2,9% NH_4Cl ; 0,4% HCl; 44,7 моль H_2O ; 175 г BaSO_4 .

593. 11,7% Al_2O_3 ; 88,3% NaAlO_2 .

594. Масса осадка 195,6 г; 13,4% CaCl_2 .

595. 18 г $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

596. 29,7% FeCl_2 ; 57,15 г FeCl_2 .

597. 4,45%.

598. $3\text{ZnS} \cdot 2\text{ZnCO}_3 \cdot \text{SiO}_2$.

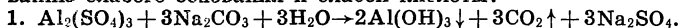
599. Давление уменьшилось в 1,08 раза; 22% NO_2 ; 38% N_2 ; 16% SO_3 ; 24% O_2 .

600. 30,2 г SnO_2 .

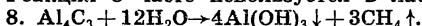
601. 35 г KClO_3 (0,29 моль).

602. FeO; 1 моль H_2 (66,7%); 0,5 моль CO (33,3%).

603. В задаче приведены примеры взаимодействий растворов двух солей (за исключением реакции 8), взаимно усиливающих гидролиз друг друга. Так, гидролиз по уравнению реакции 1 приводит к образованию слабого основания и слабой кислоты:



Реакция 8 часто используется в лаборатории для получения метана:



604. См. подробный разбор окислительно-восстановительных реакций в § 4 главы I. См. также задачи 82—85 и ответы к ним.

605. 16 г/моль (CH_4) .

606. 37% CO; 60% CH_4 ; 3% H_2 .

607. 43,5 г изобутана, 14,5 г *n*-бутана.

608. Неопентан.

609. Цис- и транс-бутен-2.

610. Пропанол-2.

611. 80%.

612. 210,6 г NaCl.

613. 50%; 11,2 л.

ОГЛАВЛЕНИЕ

От авторов	3
Глава I. Общая химия	5
§ 1. Основные понятия и законы химии	—
§ 2. Строение атомов и молекул. Типы химических связей. Периодический закон Д. И. Менделеева	14
§ 3. Растворы. Теория электролитической диссоциации	27
§ 4. Окислители и восстановители. Окислительно-восстановительные реакции. Ряд напряжений. Электролиз растворов и расплавов	37
§ 5. Закономерности протекания химических реакций (скорость химических реакций, химическое равновесие, тепловые эффекты реакций)	51
Глава II. Неорганическая химия	60
§ 1. Номенклатура, классификация, свойства и способы получения неорганических веществ, относящихся к классам оксидов, кислот, оснований и солей	—
§ 2. Водород	62
§ 3. Кислород, сера и их соединения	63
§ 4. Галогены и их соединения	64
§ 5. Азот, фосфор и их соединения	66
§ 6. Углерод, кремний и их соединения	68
§ 7. Общие свойства металлов. Щелочные и щелочноземельные металлы	70
§ 8. Алюминий, железо и их соединения	72
§ 9. Смешанные задачи	74
Глава III. Органическая химия	81
§ 1. Предельные углеводороды (алканы)	—
§ 2. Этиленовые углеводороды (алкены)	88
§ 3. Ацетиленовые углеводороды (алкины)	94
§ 4. Ароматические углеводороды (арены)	100
§ 5. Спирты и фенолы	104
§ 6. Карбонильные соединения (предельные альдегиды и кетоны, углеводы)	113
§ 7. Карбоновые кислоты, сложные эфиры, жиры	118
§ 8. Азотсодержащие органические соединения (нитросоединения, амины, аминокислоты)	124
Задачи повышенной сложности	129
Дополнительная литература	135
Приложение	136
Ответы	139

**Наталья Николаевна Магдесиева
Николай Егорович Кузьменко**

УЧИСЬ РЕШАТЬ ЗАДАЧИ ПО ХИМИИ

**Зав. редакцией А. Н. Соколов
Редактор С. А. Румянцева
Художественный редактор В. А. Галкин
Технический редактор О. В. Савельева
Корректор И. Г. Трошина**

ИБ № 9724

**Сдано в набор 19.05.86. Подписано к печати 24.11.86. Формат 60×90¹/₁₆.
Бум. кн.-журн. отеч. Гарнит. школьная. Печать высокая. Усл. печ. л. 10,0.
Усл. кр-отт. 10,5. Уч.-изд. л. 9,5. Тираж 200 000 экз. Заказ 352. Цена 30 коп.**

**Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Просвещение» Государ-
ственного комитета РСФСР по делам издательств, полиграфии и книжной
торговли. 129846, Москва, 3-й проезд Марьиной рощи, 41.**

**Саратовский ордена Трудового Красного Знамени полиграфический комбинат
Росглавполиграфпрома Государственного комитета РСФСР по делам изда-
тельств, полиграфии и книжной торговли. 410004, Саратов, ул. Чернышевско-
го, 59.**

УЧИСЬ РЕШАТЬ ЗАДАЧИ ПО ХИМИИ

Эта книга — сборник задач по химии. Он предназначен для углубленного изучения химии и рассчитан прежде всего на учащихся старших классов средней школы. Его можно использовать на факультативных занятиях.

В книгу включено около шестисот задач. Большая часть из них — расчетные. Приведены подробные решения и анализ ряда задач, показаны основные приемы решения задач различного типа. Книга обобщает многолетний педагогический опыт авторов — сотрудников химического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова.

