

БАКАЛАВР. АКАДЕМИЧЕСКИЙ КУРС

С. Н. Смарыгин, Н. Л. Багнавец, И. В. Дайдакова

# НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ ПРАКТИКУМ

Под редакцией С. Н. Смарыгина



УМО ВО рекомендует  
УМО рекомендует



РГАУ – МСХА  
ИМЕНИ  
К. А. ТИМИРЯЗЕВА

**Юрайт**  
ИЗДАТЕЛЬСТВО

[biblio-online.ru](http://biblio-online.ru)

<http://chemistry-chemists.com>

**С. Н. Смарыгин, Н. Л. Багнавец, И. В. Дайдакова**

# **НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ**

## **ПРАКТИКУМ**

**УЧЕБНО-ПРАКТИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ  
ДЛЯ БАКАЛАВРОВ**

Под редакцией **С. Н. Смарыгина**

*Допущено Учебно-методическим объединением вузов  
Российской Федерации по агрономическому образованию  
в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся  
по направлениям агрономического образования*

**Москва • Юрайт • 2019**

<http://chemistry-chemists.com>

УДК 54  
ББК 24.1я73  
С50

**Авторы:**

**Смарыгин Сергей Николаевич** — заведующий кафедрой неорганической и аналитической химии Российского государственного аграрного университета — МСХА им. К. А. Тимирязева, кандидат химических наук, доцент, автор учебника «Неорганическая химия» Д. А. Князева и С. Н. Смарыгина;

**Багнавец Наталья Леонидовна** — доцент кафедры неорганической и аналитической химии Российского государственного аграрного университета — МСХА им. К. А. Тимирязева, кандидат технических наук;

**Дайдакова Ирина Викторовна** — доцент, кандидат химических наук, ООО «Аналит-Универсал».

**Рецензенты:**

*Соловьев С. Н.* — доктор химических наук, профессор;

*Шапошник А. В.* — доктор химических наук, профессор.

**Смарыгин, С. Н.**

С50

Неорганическая химия. Практикум : учеб.-практич. пособие для бакалавров / С. Н. Смарыгин, Н. Л. Багнавец, И. В. Дайдакова ; под ред. С. Н. Смарыгина. — М. : Издательство Юрайт, 2019. — 414 с. — (Серия : Бакалавр. Базовый курс).

ISBN 978-5-9916-2736-8

Практикум соответствует учебнику Д. А. Князева и С. Н. Смарыгина «Неорганическая химия» (4-е изд. М. : Издательство Юрайт, 2012) и вместе с ним входит в учебно-методический комплекс. Он состоит из двух частей: «Теоретические основы» и «Химия элементов». Каждая часть включает несколько глав. Главы первой части помогают закрепить основы общей химии, второй — изучить свойства простых веществ и соединений химических элементов по группам периодической системы Д. И. Менделеева. Главы пособия имеют одинаковую структуру. Сначала указаны вопросы для подготовки к коллоквиуму и главы учебника, которые надо повторить, чтобы начать самостоятельную работу. Затем следуют примеры, подробно разъясняющие возможные способы решения типовых задач. В конце каждой главы приведены индивидуальные задания.

Соответствует Федеральному государственному образовательному стандарту высшего профессионального образования третьего поколения.

*Для студентов вузов, обучающихся по агрономическим направлениям подготовки бакалавров. Может быть использовано студентами других направлений аграрного и технологического образования.*

УДК 54  
ББК 24.1я73

© Смарыгин С. Н., Багнавец Н. Л.,  
Дайдакова И. В., 2012

ISBN 978-5-9916-2736-8

© ООО «Издательство Юрайт», 2019

<http://chemistry-chemists.com>

## Оглавление

Предисловие .....	4
-------------------	---

### Часть I. Теоретические основы

Глава 1. Стехиометрические расчеты .....	8
Глава 2. Скорость и энергетика химических реакций. Химическое равновесие .....	33
Глава 3. Способы выражения состава растворов .....	71
Глава 4. Растворы электролитов. Водородный показатель .....	99
Глава 5. Гидролиз солей .....	132
Глава 6. Строение атома и периодический закон Д. И. Менделеева .....	152
Глава 7. Химическая связь .....	172
Глава 8. Окислительно-восстановительные реакции....	194
Глава 9. Комплексные соединения .....	226

### Часть II. Химия элементов

Глава 10. Химия <i>s</i> -элементов .....	256
Глава 11. Химия бора и алюминия.....	277
Глава 12. Химия углерода и кремния .....	295
Глава 13. Химия азота .....	313
Глава 14. Химия фосфора .....	329
Глава 15. Химия кислорода и серы .....	347
Глава 16. Химия галогенов .....	367
Глава 17. Химия <i>d</i> -элементов.....	387
Приложения.....	399
Список литературы.....	413



## Предисловие

Данное учебно-практическое пособие составлено в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом ВПО третьего поколения и примерными программами по неорганической химии для студентов, обучающихся по направлениям агрономического образования. Также оно может быть использовано для организации учебного процесса по другим направлениям подготовки бакалавров сельского хозяйства. Книга создавалась с учетом возрастающей роли самостоятельной внеаудиторной работы студентов при изучении естественно-научных дисциплин и призвана организовать ее, а также помочь преподавателям проконтролировать результаты этой работы.

По содержанию и структуре это пособие соответствует учебнику Д. А. Князева и С. Н. Смаригина «Неорганическая химия» (4-е изд. М. : Издательство Юрайт, 2012), вместе с которым оно входит в состав учебно-методического комплекса для сельскохозяйственных вузов.

Как и учебник, данный практикум состоит из двух частей: «Теоретические основы» и «Химия элементов».

В каждую часть входит несколько глав с одинаковым строением.

В начале каждой главы указано, что студент должен *знать* и *уметь* и какими навыками он должен *владеть* после успешного завершения работы над данной главой руководства. Затем приведены номера глав учебника, которые необходимо изучить и повторить, прежде чем приступить к самостоятельной работе.

Вопросы для подготовки к коллоквиуму призваны акцентировать внимание студентов на наиболее важных положениях учебной дисциплины и позволяют студентам самостоятельно проверить полноту усвоения ими теоретического материала, изложенного в учебнике.

За вопросами следуют примеры, в которых подробно разъясняются возможные способы решения типовых задач. Для облегчения самостоятельной работы студентов

примеры сгруппированы по типам задач. Для некоторых типов задач даны алгоритмы решений. В конце каждой главы приведены 30 вариантов индивидуальных заданий, каждое из которых состоит из пяти вопросов и задач. Общее количество задач и вопросов в книге — 2550, а значит, каждому студенту придется столкнуться с 85 задачами и вопросами.

При составлении индивидуальных заданий и примеров авторы стремились продемонстрировать студентам сельскохозяйственных вузов практическую значимость фактологических знаний и навыков теоретического анализа и расчета химических процессов и систем и тем самым способствовать формированию положительной мотивации к изучению этого сложного курса. Для достижения указанных целей в условиях задач рассмотрены реальные химические системы и процессы, играющие важную роль в сельском хозяйстве, биологии, экологии, производстве минеральных удобрений.

Индивидуальные задания — это готовый дидактический материал. Вопросы и задачи в них сформулированы так, чтобы можно было дать краткий однозначный ответ. Это облегчает контроль выполнения индивидуальных заданий со стороны преподавателей, в том числе с применением компьютерной техники, так как эти задания могут быть использованы для составления тестов.

*Авторы*



**Часть I**

# **Теоретические основы**



# Глава 1

## Стехиометрические расчеты

---

В результате успешного освоения материала этой главы студент должен:

— **знать:** основные понятия и законы стехиометрии (моль, постоянная Авогадро, молярная масса, химический эквивалент, фактор эквивалентности, молярная масса эквивалента, законы сохранения массы, постоянства состава, Авогадро, эквивалентов);

— **уметь:** использовать понятия и законы стехиометрии в практической деятельности;

— **владеть:** навыками стехиометрических расчетов.

**Изучите:** гл. 2 учебника.

---

### 1.1. Вопросы для подготовки к коллоквиуму

1. Что изучает стехиометрия?
2. Что такое стехиометрические коэффициенты и стехиометрические индексы?
3. Что такое моль?
4. Как вычислить молярную массу вещества?
5. Как читается закон сохранения массы веществ в химической реакции?
6. Как читаются законы кратных отношений, постоянства состава и простых объемных отношений? Для всех ли веществ справедливы эти законы?
7. Как читается закон эквивалентов?
8. Что такое химический эквивалент?
9. Что такое фактор эквивалентности?
10. Как вычислить молярную массу эквивалентов вещества?

### 1.2. Примеры решения задач

Расчеты количеств вещества, масс и объемов реагентов и продуктов реакции, а также расчеты количественного состава вещества называют стехиометрическими расчетами.

Такие расчеты основаны на законах стехиометрии. В них оперируют понятиями «моль», «молярная масса вещества» и «молярный объем газа».

Если известна масса вещества, то количество вещества  $n(\text{В})$  в молях вычисляют при помощи уравнения

$$n(\text{В}) = \frac{m(\text{В})}{M(\text{В})},$$

где  $m(\text{В})$  — масса вещества, г;  $M(\text{В})$  — его молярная масса, г/моль. Буквой В в этом и в последующих уравнениях обозначена химическая формула любого вещества.

Если в условии задачи встречается неизвестное студенту название минерала или химического вещества, то для отыскания в учебнике химической формулы этого соединения нужно воспользоваться предметным указателем учебника, где указаны страницы, на которых описано это соединение.

### Задачи на расчет количества вещества

#### Пример 1.1.

**Задача.** Вычислите количество вещества хлорида натрия, содержащегося в одной пачке поваренной соли массой 1 кг. Содержанием примесей пренебречь.

**Решение.**

$m(\text{NaCl}) = 1 \text{ кг}$		Для расчета количества вещества хлорида натрия NaCl пользуемся уравнением
$n(\text{NaCl}) = ?$		

$$n(\text{NaCl}) = \frac{m(\text{NaCl})}{M(\text{NaCl})}.$$

Массу хлорида натрия в это уравнение нужно подставить в граммах: 1 кг = 1000 г. Молярную массу вычисляем как сумму молярных масс атомов натрия и хлора, взятых с точностью до десятых долей:  $M(\text{NaCl}) = 23,0 + 35,5 = 58,5$  г/моль. Подставляем эти числовые значения в уравнение и производим расчет:

$$n(\text{NaCl}) = \frac{1000}{58,5} = 17,1 \text{ моль}.$$

**Ответ.** 17,1 моль.

Если известен объем газа, измеренный при нормальных условиях (н.у.), то количество вещества этого газа  $n(\text{В})$  можно вычислить при помощи уравнения

$$n(\text{В}) = \frac{V(\text{В})}{V_n},$$

где  $V(B)$  — объем газа, л;  $V_n$  — молярный объем газа, равный 22,4 л/моль.

### Пример 1.2.

**Задача.** В 1 л воды при температуре 0°C и давлении 1 атм растворяется 48,9 мл кислорода. Какое количество вещества этого газа растворяется в 1 л воды при указанных условиях?

*Решение.*

$$\begin{aligned} V(O_2) &= 48,9 \text{ мл} \\ V(H_2O) &= 1 \text{ л} \\ p &= 1 \text{ атм} \\ T &= 0^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$n(O_2) = ?$$

Приведенные в условиях задачи температура и давление соответствуют нормальным условиям, поэтому для расчета количества вещества кислорода  $O_2$  можно воспользоваться уравнением

$$n(O_2) = \frac{V(O_2)}{V_n}.$$

Принимая во внимание, что объем газа в этом уравнении должен быть выражен в литрах и что 1 мл =  $10^{-3}$  л, переводим объем растворяющегося кислорода в литры: 48,9 мл =  $4,89 \cdot 10^{-2}$  л. Производим расчет:

$$n(O_2) = \frac{4,89 \cdot 10^{-2}}{22,4} = 2,2 \cdot 10^{-3} \text{ моль}.$$

*Ответ.*  $2,2 \cdot 10^{-3}$  моль.

### Задачи на расчеты по уравнениям реакций

Уравнение химической реакции показывает количественные соотношения между реагентами, вступающими в реакцию, и продуктами, образующимися в результате этой реакции. Эти количественные соотношения выражаются стехиометрическими коэффициентами. При помощи химического уравнения можно вычислить:

1) массу, количество вещества или объем реагента, вступающего в реакцию с данной массой, данным количеством вещества или данным объемом другого реагента (см. пример 1.3);

2) массу, количество вещества или объем реагента, которые нужно взять для получения заданной массы, заданного количества вещества или заданного объема продукта реакции (см. пример 1.4);

3) выход продукта реакции (см. пример 1.5).

### Пример 1.3.

**Задача.** Вычислите объем (л; н.у.) азота, который вступает в реакцию с 20,82 г металлического лития.

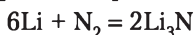


*Решение.*

$$m(\text{Li}) = 20,82 \text{ г}$$

$$V(\text{N}_2) = ?$$

Составляем уравнение реакции:



Вычисляем количество вещества металлического лития:

$$n(\text{Li}) = \frac{m(\text{Li})}{M(\text{Li})} = \frac{20,82}{6,94} = 3 \text{ моль.}$$

Из уравнения реакции очевидно, что 6 моль лития вступают в реакцию с 1 моль азота, т.е. количество вещества вступающего в реакцию азота в 6 раз меньше, чем количество вещества реагирующего с ним лития:

$$n(\text{N}_2) = 1/6n(\text{Li}) = \frac{3}{6} = 0,5 \text{ моль.}$$

Объем вступающего в реакцию азота вычисляем с использованием молярного объема газов:

$$V(\text{N}_2) = n(\text{N}_2) \cdot V_n = 0,5 \cdot 22,4 = 11,2 \text{ л.}$$

*Ответ.* 11,2 л.**Пример 1.4.**

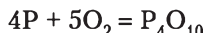
**Задача.** Какую массу фосфора (г) нужно взять для получения 28,4 г оксида фосфора(V)?

*Решение.*

$$m(\text{P}_4\text{O}_{10}) = 28,4 \text{ г}$$

$$m(\text{P}) = ?$$

Составляем уравнение реакции:



Вычисляем количество вещества оксида фосфора(V):

$$n(\text{P}_4\text{O}_{10}) = \frac{m(\text{P}_4\text{O}_{10})}{M(\text{P}_4\text{O}_{10})} = \frac{28,4}{283,9} = 0,1 \text{ моль.}$$

Из уравнения реакции очевидно, что из 4 моль фосфора можно получить 1 моль оксида фосфора(V), т.е. количество вещества вступающего в реакцию фосфора в 4 раза больше, чем количество вещества образующегося  $\text{P}_4\text{O}_{10}$ :

$$n(\text{P}) = 4n(\text{P}_4\text{O}_{10}) = 4 \cdot 0,1 = 0,4 \text{ моль.}$$

Для расчета массы вступающего в реакцию фосфора воспользуемся молярной массой этого вещества:

$$m(\text{P}) = n(\text{P}) \cdot M(\text{P}) = 0,4 \cdot 31,0 = 12,4 \text{ г.}$$

*Ответ.* 12,4 г.

Задачи, приведенные в примерах 1.3 и 1.4, решаются по общему алгоритму, который применим ко всем подобным задачам:

1) составить уравнение реакции;

2) вычислить количество вещества того из реагентов или продуктов, для которого в условиях задачи даны масса или объем;

3) определить, пользуясь стехиометрическими коэффициентами в уравнении реакции, соотношение между вычисленным количеством вещества реагента или продукта и количеством вещества реагента или продукта, массу или объем которого требуется найти по условию задачи;

4) вычислить искомую массу или искомый объем с использованием соответственно молярной массы или молярного объема.

### Пример 1.5.

**Задача.** Через колонну, заполненную катализатором, при температуре  $500^{\circ}\text{C}$  и давлении 25 МПа пропустили газовую смесь, состоявшую из  $22,4 \text{ м}^3$  азота и  $67,2 \text{ м}^3$  водорода. В результате реакции образовалось  $8,96 \text{ м}^3$  аммиака. Вычислите выход продукта реакции ( $\eta$ ). (Объемы газов измерены при н.у.)

*Решение.*

$$T = 500^{\circ}\text{C}$$

$$p = 25 \text{ МПа}$$

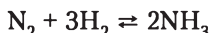
$$V(\text{N}_2) = 22,4 \text{ м}^3$$

$$V(\text{H}_2) = 67,2 \text{ м}^3$$

$$V(\text{NH}_3) = 8,96 \text{ м}^3$$

$$\eta = ?$$

Составляем уравнение реакции:



Находим количества (моль) реагентов (азота и водорода) и продукта реакции (аммиака), предварительно переведя объемы газов из кубических метров в литры ( $1 \text{ м}^3 = 1000 \text{ л}$ ):

$$n(\text{N}_2) = \frac{V(\text{N}_2)}{V_n} = \frac{22\,400}{22,4} = 1000 \text{ моль};$$

$$n(\text{H}_2) = \frac{V(\text{H}_2)}{V_n} = \frac{67\,200}{22,4} = 3000 \text{ моль};$$

$$n_{\text{практ}}(\text{NH}_3) = \frac{V(\text{NH}_3)}{V_n} = \frac{8960}{22,4} = 400 \text{ моль}.$$

Из уравнения реакции очевидно, что с 1 моль азота реагируют 3 моль водорода, т.е. количество водорода в 3 раза больше количества азота:

$$n(\text{H}_2) = 3n(\text{N}_2).$$

Именно такое соотношение количеств водорода и азота имеет место в газовой смеси, о которой идет речь в условиях задачи. Такие смеси, в которых соотношения компонентов совпадают с отношениями стехиометрических коэффициентов в уравнении реакции, называют стехиометрическими. В стехиометрических смесях ни один из компонентов не содержится в избытке, поэтому расчет можно вести по любому из компонентов, например по азоту.

В соответствии с уравнением реакции из 1 моль азота можно получить 2 моль аммиака, т.е. количество аммиака, которое теоретически можно получить в результате реакции, в 2 раза больше количества азота:

$$n_{\text{теор}}(\text{NH}_3) = 2n(\text{N}_2) = 2 \cdot 1000 = 2000 \text{ моль.}$$

Практический выход аммиака  $\eta$  вычисляем как отношение количества аммиака, которое получено практически  $n_{\text{практ}}(\text{NH}_3)$ , к количеству аммиака, которое можно получить теоретически при условии полного превращения реагентов в продукты:

$$\eta = \frac{n_{\text{практ}}(\text{NH}_3)}{n_{\text{теор}}(\text{NH}_3)} = \frac{400}{2000} = 0,2, \text{ или } 20\%.$$

*Ответ.* 20%.

### Задачи на расчет массовой доли химического элемента в соединении

Вычислить массовую долю элемента X в соединении можно, воспользовавшись уравнением

$$\omega(X) = \frac{m(X)}{m(\text{соединения})}.$$

Массовая доля  $\omega$  — безразмерная величина. Она может быть выражена в долях единицы и в процентах. Приведенное выше уравнение позволяет вычислить массовую долю в долях единицы. Чтобы получить массовую долю в процентах, следует воспользоваться уравнением

$$\omega(X) = \frac{m(X)}{m(\text{соединения})} 100\%.$$

#### Пример 1.6.

**Задача.** Вычислите массовую долю азота (%) в аммиачной селитре.

*Решение.*

$\text{NH}_4\text{NO}_3$ $\omega(\text{N}) = ?$	<p>Аммиачная селитра — это техническое название азотного удобрения, представляющего собой нитрат аммония <math>\text{NH}_4\text{NO}_3</math>.</p> <p>Молярная масса нитрата аммония <math>M(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 80,0 \text{ г/моль}</math>. Из химической формулы нитрата аммония очевидно, что 1 моль <math>\text{NH}_4\text{NO}_3</math> содержит 2 моль атомов азота. Следовательно, массовую долю азота в нитрате аммония вычисляем по уравнению</p>
--	--

$$\omega(\text{N}) = \frac{2M(\text{N})}{M(\text{NH}_4\text{NO}_3)} 100\% = \frac{2 \cdot 14,0}{80,0} 100\% = 35\%.$$

Следует отметить, что в данном примере расчет производился при условии, что аммиачная селитра не содержит примесей и состоит только из чистого нитрата аммония. Реальные, выпускаемые промышленностью удобрения всегда содержат примеси, поэтому содержание в них элементов питания будет меньше, чем найденное путем расчета по химической формуле.

*Ответ.* 35%.

### Пример 1.7.

**Задача.** Вычислите массовую долю калия (%) в пересчете на  $K_2O$  в хлористом калии.

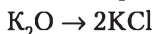
*Решение.*

KCl

$\omega(K_2O) = ?$

Хлористый калий — техническое название калийного удобрения, основным компонентом которого является хлорид калия KCl. Это название сохранилось из отмененной ныне русской номенклатуры химических соединений.

Выражать массовую долю элемента в пересчете на его оксид принято в агрохимии и минералогии. Чтобы произвести такой пересчет, составляем схему превращения оксида калия в хлорид калия и уравниваем при помощи стехиометрических коэффициентов число атомов калия в левой и правой частях этой схемы:



Из этой схемы очевидно, что одинаковое число атомов калия содержится в 1 моль оксида калия и 2 моль хлорида калия, поэтому расчет производим по уравнению

$$\omega(K_2O) = \frac{M(K_2O)}{2M(KCl)} 100\% = \frac{94,2}{2 \cdot 74,6} 100\% = 63,1\%.$$

В выпускаемом промышленностью хлористом калии содержание  $K_2O$  меньше, чем полученное путем расчета по химической формуле, из-за наличия примесей.

*Ответ.* 63,1%.

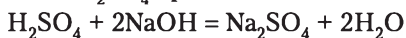
### Задачи на определение химического эквивалента

Химический эквивалент одного и того же вещества может быть различным в зависимости от того, в какую реакцию вступает это вещество. Поэтому в условиях задачи, связанной с определением химического эквивалента, фактора эквивалентности и молярной массы эквивалента, обязательно должно быть сказано, о какой реакции идет речь.

### Пример 1.8.

**Задача.** Какая частица является химическим эквивалентом серной кислоты в реакции ее полной нейтрализации?

*Решение.* Серная кислота  $\text{H}_2\text{SO}_4$  — это двухосновная кислота. Ее полная нейтрализация достигается, когда оба катиона водорода из состава ее молекулы взаимодействуют с гидроксид-ионами. На практике, полная нейтрализация кислоты достигается, если она взаимодействует с основанием, взятым в избытке. Примером реакции, в результате которой полностью нейтрализуется серная кислота, является ее взаимодействие с гидроксидом натрия при условии, что на 1 моль  $\text{H}_2\text{SO}_4$  приходится не менее 2 моль  $\text{NaOH}$ :



Данная реакция относится к числу кислотно-основных реакций, в которых эквивалентом вещества является реальная или условная частица, эквивалентная одному катиону водорода. Частица эквивалентна одному катиону водорода, если она реагирует как один катион водорода или вступает в реакцию с одним катионом водорода. В рассматриваемой реакции каждая молекула серной кислоты реагирует так, что в реакцию вступают два катиона водорода из ее состава, следовательно, ее эквивалентом служит условная, не существующая на самом деле частица  $1/2$  молекулы  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

*Ответ.*  $1/2$  молекулы  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

Следует отметить, что для одноосновных кислот, например для азотной  $\text{HNO}_3$ , хлороводородной  $\text{HCl}$ , уксусной  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , химическим эквивалентом в любой кислотно-основной реакции будет реальная частица — молекула этой кислоты, так как при диссоциации молекулы одноосновной кислоты может образовываться и вступать в реакцию только один катион водорода.

Аналогично обстоит дело и в случае однокислотных оснований, к числу которых относится, например, гидроксид натрия  $\text{NaOH}$ . Электролитическая диссоциация гидроксида натрия описывается уравнением



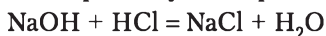
Гидроксид-ион  $\text{OH}^-$  в кислотно-основных реакциях эквивалентен катиону водорода  $\text{H}^+$ , так как в любой кислотно-основной реакции с одним катионом  $\text{H}^+$  реагирует один анион  $\text{OH}^-$ . Понятно, что химический эквивалент однокислотных оснований не будет меняться в зависимости от того, в какую кислотно-основную реакцию вступает это основание. Однако какая же частица будет эквивалентом гидроксида натрия в любой кислотно-основной реакции? В отличие от рассмотренных выше кислот, которые могут существовать в молекулярной форме, гидроксид натрия и другие сильные основания — кристаллические вещества, в кристаллах которых нет молекул, а есть только чередующиеся в строго

определенном порядке катионы металла и гидроксид-ионы. Для кристаллических веществ вводится понятие формульной единицы. Формульная единица содержит в своем составе столько атомов или ионов, сколько их записано в химической формуле вещества. Например, формульная единица гидроксида натрия состоит из одного катиона натрия и одного гидроксид-иона.

**Пример 1.9.**

*Задача.* Какая частица является химическим эквивалентом гидроксида натрия в его реакции с хлороводородной кислотой?

*Решение.* Гидроксид натрия вступает в реакцию



Так как в состав каждой формульной единицы гидроксида натрия входит один анион  $\text{OH}^-$ , который реагирует с одним катионом водорода, то эквивалентом гидроксида натрия является одна формульная единица  $\text{NaOH}$ .

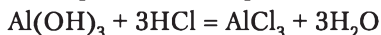
*Ответ.* Формульная единица  $\text{NaOH}$ .

**Пример 1.10.**

*Задача.* Какая частица является химическим эквивалентом гидроксида алюминия в его реакции с избытком хлороводородной кислоты?

*Решение.* Гидроксид алюминия представляет собой неорганический полимер, в котором нет отдельных молекул  $\text{Al}(\text{OH})_3$ . Поэтому в этом случае также следует говорить не о молекулах, а о формульных единицах вещества.

При взаимодействии с избытком хлороводородной кислоты происходит полная нейтрализация гидроксида алюминия:



При этом из состава каждой формульной единицы  $\text{Al}(\text{OH})_3$  в реакцию вступают три гидроксид-иона  $\text{OH}^-$ . Каждый гидроксид-ион взаимодействует с одним катионом водорода, поэтому эквивалентом гидроксида алюминия является условная частица  $1/3$  формульной единицы  $\text{Al}(\text{OH})_3$ .

*Ответ.*  $1/3$  формульной единицы  $\text{Al}(\text{OH})_3$ .

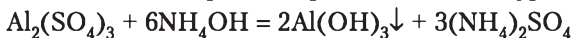
Большинство солей представляют собой ионные кристаллы, в которых нет отдельных молекул, поэтому в случае солей также говорят не о молекулах, а о формульных единицах. Каждый катион металла из состава соли эквивалентен в кислотно-основной реакции такому числу катионов водорода, которое равно заряду этого катиона: однозарядный катион металла эквивалентен одному катиону водорода, двухзарядный катион металла эквивалентен двум катионам водорода и т.д. Поэтому, чтобы сказать, какая частица будет

эквивалентом соли, нужно знать, сколько катионов металла из состава каждой формульной единицы соли вступают в реакцию и каков заряд каждого прореагировавшего катиона.

### Пример 1.11.

**Задача.** Какая частица является химическим эквивалентом сульфата алюминия в его реакции с гидроксидом аммония, в результате которой образуется гидроксид алюминия?

**Решение.** Реакция, о которой идет речь, описывается уравнением



Из состава каждой формульной единицы соли вступают в реакцию два катиона  $\text{Al}^{3+}$ . Заряд катиона алюминия равен  $3+$ , поэтому он эквивалентен трем катионам водорода. Следовательно формульная единица сульфата алюминия эквивалентна шести катионам водорода ( $2 \cdot 3 = 6$ ), а ее химический эквивалент — это условная частица  $1/6$  формульной единицы  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ .

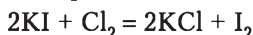
**Ответ.**  $1/6$  формульной единицы  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ .

В окислительно-восстановительных реакциях химическим эквивалентом вещества является частица, эквивалентная одному электрону.

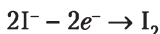
### Пример 1.12.

**Задача.** Какая частица является эквивалентом иодида калия при его окислении хлорной водой?

**Решение.** При взаимодействии растворенного иодида калия с хлорной водой происходит реакция



В результате этой реакции каждый иодид-ион теряет один электрон:



Каждая формульная единица иодида калия включает в свой состав один иодид-ион. Следовательно, эквивалентом иодида калия в данной окислительно-восстановительной реакции является формульная единица  $\text{KI}$ .

**Ответ.** Формульная единица  $\text{KI}$ .

## Задачи на определение фактора эквивалентности

Зная, какая частица является эквивалентом того или иного вещества в данной реакции, легко определить числовое значение фактора эквивалентности.

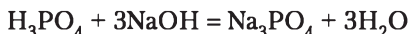
Из рассмотренных примеров ясно, что *фактор эквивалентности для кислот равен единице, деленной на число катионов водорода из состава молекулы кислоты, вступающих в данную кислотно-основную реакцию.*



**Пример 1.13.**

**Задача.** Определите фактор эквивалентности ортофосфорной кислоты в реакции ее полной нейтрализации.

**Решение.** Полная нейтрализация ортофосфорной кислоты происходит, например, при ее взаимодействии с избытком гидроксида натрия:



Из уравнения очевидно, что из состава каждой молекулы ортофосфорной кислоты в реакцию три катиона водорода. Следовательно, эквивалентом ортофосфорной кислоты является условная частица  $1/3$  реально существующей молекулы  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , а фактор эквивалентности равен  $1/3$ .

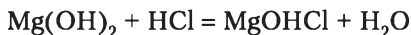
**Ответ.**  $1/3$ .

В реакциях нейтрализации с одним гидроксид-ионом всегда реагирует один катион водорода. Поэтому для оснований фактор эквивалентности равен единице, деленной на число гидроксид-ионов из состава формульной единицы основания, вступающих в данную кислотно-основную реакцию.

**Пример 1.14.**

**Задача.** Определите фактор эквивалентности гидроксида магния в реакции с хлороводородной кислотой, в результате которой образуется основная соль  $\text{MgOHCl}$ .

**Решение.** В условии задачи речь идет о реакции, которая описывается уравнением



Из состава каждой формульной единицы гидроксида магния в реакцию вступает только один гидроксид-ион, следовательно, эквивалентом гидроксида магния является формульная единица  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ , а фактор эквивалентности  $1/1 = 1$ .

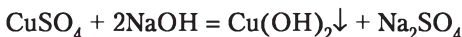
**Ответ.** 1.

Для солей фактор эквивалентности равен единице, деленной на произведение числа катионов (или анионов) из состава формульной единицы соли, вступивших в данную реакцию, и заряда прореагировавшего катиона (или аниона).

**Пример 1.15.**

**Задача.** Определите фактор эквивалентности сульфата меди(II) в реакции с гидроксидом натрия, в результате которой образуется гидроксид меди.

**Решение.** В условии задачи речь идет о реакции, которая описывается уравнением



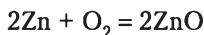
Из состава формульной единицы сульфата меди(II) в реакцию вступает один двухзарядный катион меди, который реагирует с двумя гидроксид-ионами и, следовательно, эквивалентен двум катионам водорода. Таким образом, формульная единица этой соли эквивалентна двум катионам водорода и химическим эквивалентом соли служит условная частица  $1/2$  формульной единицы  $\text{CuSO}_4$ . Фактор эквивалентности сульфата меди(II) в данной реакции равен  $1/2$ .

*Ответ.*  $1/2$ .

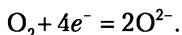
*В окислительно-восстановительных реакциях фактор эквивалентности окислителя равен единице, деленной на число принимаемых им электронов, а фактор эквивалентности восстановителя равен единице, деленной на число отдаваемых им электронов.*

### Пример 1.16.

*Задача.* Определите факторы эквивалентности окислителя и восстановителя в реакции

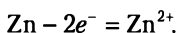


*Решение.* В этой реакции окислителем служит молекула кислорода, которая присоединяет четыре электрона:



Следовательно, фактор эквивалентности окислителя равен  $1/4$ .

Восстановителем в этой реакции является атом цинка, который отдает два электрона:



Следовательно, фактор эквивалентности восстановителя равен  $1/2$ .

*Ответ.*  $1/4$  и  $1/2$ .

### Задачи на расчет молярной массы эквивалента

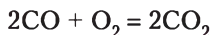
Чтобы вычислить молярную массу эквивалента, нужно знать фактор эквивалентности данного вещества в данной реакции и молярную массу этого вещества. Произведение двух этих величин равно молярной массе эквивалента данного вещества.

### Пример 1.17.

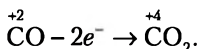
*Задача.* Вычислите молярную массу эквивалента монооксида углерода при его окислении до диоксида углерода.

*Решение.*

Окисление монооксида углерода [оксида углерода(II)] до диоксида углерода [оксида углерода(IV)] описывается уравнением



В этой окислительно-восстановительной реакции степень окисления углерода увеличивается с +2 до +4, т.е. каждая молекула CO отдает два электрона:



Следовательно, эквивалентом монооксида углерода является условная частица 1/2 молекулы CO, а фактор эквивалентности равен 1/2. Для расчета молярной массы эквивалента монооксида углерода воспользуемся уравнением

$$M(1/2\text{CO}) = f_{\text{экв}}(\text{CO}) M(\text{CO}) = 1/2 \cdot 28,0 = 14 \text{ г/моль}.$$

Ответ. 14 г/моль.

### 1.3. Индивидуальные задания

#### Вариант 1

1. Какую массу (кг) двойного суперфосфата можно получить из 62 кг ортофосфата кальция?

2. Разберите пример расчета, приведенный в табл. 2.1 учебника, и, пользуясь этим образцом, определите, в каком отношении находятся между собой массы кислорода, приходящиеся на одну и ту же массу серы в диоксиде и триоксиде серы. Какой закон стехиометрии иллюстрирует ваш расчет?

3. Вычислите массовую долю (%) азота в цианамиде кальция.

4. Какая частица является химическим эквивалентом фтороводородной кислоты, если она вступает в реакцию с избытком гидроксида натрия?

5. Вычислите молярную массу эквивалента гидроксида бария в реакции его полной нейтрализации.

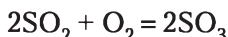
#### Вариант 2

1. Какой объем (м<sup>3</sup>) диоксида углерода образуется при прокаливании 125,1 кг известняка, содержащего 80% карбоната кальция? Объем газа вычислите при н.у.

2. Напишите уравнение реакции горения аммиака. Какими небольшими целыми числами выражается отношение объемов реагирующих между собой газов и газообразных продуктов реакции? Какому закону стехиометрии подчиняется полученное вами отношение?

3. Вычислите массовую долю (%) калия в пересчете на K<sub>2</sub>O в сульфате калия.

4. Какая частица является эквивалентом диоксида серы в реакции



5. Вычислите молярную массу эквивалента ортофосфорной кислоты, если она вступает в реакцию полной нейтрализации.

### Вариант 3

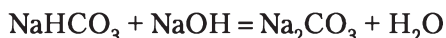
1. Какой объем (л; н.у.) стехиометрической газовой смеси водорода и кислорода был взорван, если в результате реакции образовалось 18 мл жидкой воды?

2. Разберите пример расчета, приведенный в табл. 2.1 учебника, и, пользуясь этим образцом, определите, в каком отношении находятся между собой массы водорода, приходящиеся на одну и ту же массу азота в аммиаке и гидразине. Какой закон стехиометрии иллюстрирует ваш расчет?

3. Вычислите массовую долю (%) азота в аммиаке.

4. Какая частица является эквивалентом фосфористой кислоты в реакции ее полной нейтрализации?

5. Вычислите молярную массу эквивалента гидрокарбоната натрия в реакции



### Вариант 4

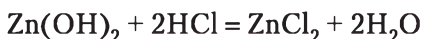
1. Какую массу (кг) сульфата аммония можно получить при поглощении серной кислотой 44,8 л аммиака (н.у.), содержащегося в коксовом газе?

2. Рассчитайте число молекул диазота, содержащихся в 1 л этого газа при н.у. Проведите аналогичный расчет для диоксида. Различаются ли между собой полученные вами числа? Какому закону стехиометрии соответствуют результаты ваших расчетов?

3. Вычислите массовую долю (%) фосфора в пересчете на  $\text{P}_2\text{O}_5$  в кормовом фосфате, техническое название которого динатрийфосфат.

4. Какая частица является эквивалентом гидроксида бария в реакции его полной нейтрализации?

5. Вычислите молярную массу эквивалента гидроксида цинка в реакции



**Вариант 5**

1. Какой объем (л) сероводорода выделится при взаимодействии с водой 150 г сульфида алюминия? Объем газа вычислите при н.у.

2. Проанализируйте условия задач, приведенных под номерами 2 в вариантах 1 и 3. Из каких частиц (молекул или ионов) состоят вещества, о которых говорится в этих задачах? Подчиняются ли эти вещества закону постоянства состава? Можно ли сказать, что эти вещества — нестехиометрические соединения?

3. Вычислите массовую долю (%) фосфора в пересчете на  $P_2O_5$  в кормовом фосфате, техническое название которого диаммонийфосфат.

4. Какая частица является эквивалентом ортомышьяковой кислоты в реакции ее полной нейтрализации?

5. Вычислите молярную массу эквивалента хлороводорода в реакции

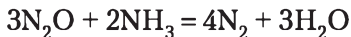
**Вариант 6**

1. Какой объем (л; н.у.) сероводорода образуется при взаимодействии с водой 92,21 г сульфида кремния?

2. Напишите уравнение реакции каталитического окисления аммиака. Какими небольшими целыми числами выражается отношение объемов реагирующих между собой газов и газообразных продуктов реакции? Какому закону стехиометрии подчиняется полученное вами отношение?

3. Вычислите массовую долю (%) фосфора в пересчете на  $P_2O_5$  в простом суперфосфате.

4. Какая частица является химическим эквивалентом оксида азота в реакции



5. Вычислите молярную массу эквивалента ортофосфорной кислоты, если она вступает в реакцию с гидроксидом натрия, в результате которой образуется дигидроортофосфат натрия.

**Вариант 7**

1. Какую массу (г) хлорида аммония можно получить из 11,2 л (н.у.) аммиака?

2. Разберите пример расчета, приведенный в табл. 2.1 учебника, и, пользуясь этим образцом, определите, в каком отношении находятся между собой массы кислорода,

приходящиеся на одну и ту же массу фосфора в гексаоксиде тетрафосфора и декаоксиде тетрафосфора. Какой закон стехиометрии иллюстрирует ваш расчет?

3. Вычислите массовую долю (%) фосфора в пересчете на  $P_2O_5$  и азота в диаммофосе.

4. Какая частица является эквивалентом селеноводородной кислоты в реакции ее полной нейтрализации?

5. Вычислите молярную массу эквивалента сульфита натрия в реакции



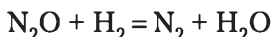
### Вариант 8

1. В лабораторных условиях азот можно получить при разложении дихромата аммония. Какой объем (л; н.у.) азота можно получить из 126 г этой соли?

2. Вычислите плотности газообразных монооксида и диоксида углерода при н.у. Определите их отношение и отношение молярных масс этих газов. Сравните полученные вами отношения. Различаются ли они между собой? Следствием какого закона стехиометрии является полученное вами соотношение?

3. Вычислите массовую долю (%) фосфора в пересчете на  $P_2O_5$  в диаммофосе.

4. Какая частица является химическим эквивалентом оксида диазота в реакции



5. Вычислите молярную массу эквивалента ортофосфорной кислоты, если она вступает в реакцию с гидроксидом натрия, в результате которой образуется гидроортофосфат натрия.

### Вариант 9

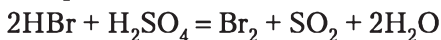
1. Какую массу (г) карборунда можно получить из 30,04 г диоксида кремния, если выход составляет 75%?

2. Разберите пример расчета, приведенный в табл. 2.1 учебника, и, пользуясь этим образцом, определите, в каком отношении находятся между собой массы кислорода, приходящиеся на одну и ту же массу хлора в монооксиде дихлора и диоксиде хлора. Какой закон стехиометрии иллюстрирует ваш расчет?

3. Вычислите массовую долю (%) азота в сульфате аммония.

4. Какая частица является эквивалентом селенистой кислоты в реакции ее полной нейтрализации?

5. Вычислите молярную массу эквивалента бромоводородной кислоты в реакции



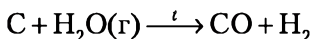
### Вариант 10

1. Какую массу (г) диоксида кремния можно получить из 44,8 л (н.у.) моносилана?

2. Напишите уравнение реакции горения сероводорода. Какими небольшими целыми числами выражается отношение объемов реагирующих между собой газов и газообразных продуктов реакции? Какому закону стехиометрии подчиняется полученное вами отношение?

3. Вычислите массовую долю (%) азота в диаммофосе.

4. Какая частица является химическим эквивалентом углерода в реакции



5. Вычислите молярную массу эквивалента фосфорноватистой кислоты, если она вступает в реакцию с гидроксидом натрия, в результате которой образуется гипофосфит натрия.

### Вариант 11

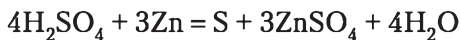
1. Какую массу (г) карбоната аммония можно получить при пропускании 112 л (н.у.) диоксида углерода через раствор аммиака в воде?

2. Проанализируйте условия задач, приведенных под номерами 2 в вариантах 7 и 9. Из каких частиц (молекул или ионов) состоят вещества, о которых говорится в этих задачах? Подчиняются ли эти вещества закону постоянства состава? Можно ли сказать, что эти вещества являются нестехиометрическими соединениями?

3. Вычислите массовую долю (%) кристаллизационной воды, содержащейся в преципитате.

4. Какая частица является эквивалентом селеновой кислоты в реакции ее полной нейтрализации?

5. Вычислите молярную массу эквивалента серной кислоты в реакции



### Вариант 12

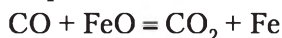
1. Какую массу (г) метагидроксида алюминия можно получить из 2 моль гидроксида алюминия?



2. Вычислите плотности газообразных аммиака и монофосфина при н.у. Определите их отношение и отношение молярных масс этих газов. Сравните полученные вами отношения. Различаются ли они между собой? Следствием какого закона стехиометрии является полученное вами отношение?

3. Вычислите массовую долю (%) фосфора в пересчете на  $P_2O_5$  в двойном суперфосфате.

4. Какая частица является химическим эквивалентом монооксида углерода в реакции



5. Вычислите молярную массу эквивалента фосфористой кислоты, если она вступает в реакцию с гидроксидом натрия, в результате которой образуется гидрофосфит натрия.

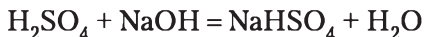
### Вариант 13

1. Какую массу (г) оксида алюминия можно получить из 2 моль метагидроксида алюминия?

2. Разберите пример расчета, приведенный в табл. 2.1 учебника, и, пользуясь этим образцом, определите, в каком отношении находятся между собой массы хлора, приходящиеся на одну и ту же массу кислорода в монооксиде дихлора и диоксиде хлора. Какой закон стехиометрии иллюстрирует ваш расчет?

3. Вычислите массовую долю (%) кристаллизационной воды, содержащейся в двойном суперфосфате.

4. Какая частица является эквивалентом серной кислоты в реакции



5. Вычислите молярную массу эквивалента серной кислоты в реакции



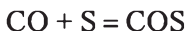
### Вариант 14

1. Какой объем фосфина (л; н.у.) можно получить при взаимодействии 89 г фосфида алюминия с хлороводородной кислотой?

2. Напишите уравнение реакции каталитического окисления оксида азота(II) до оксида азота(IV). Какими небольшими целыми числами выражается отношение объемов реагирующих между собой газов и газообразных продуктов реакции? Какому закону стехиометрии подчиняется полученное вами отношение?

3. Вычислите массовую долю (%) кристаллизационной воды, содержащейся в простом суперфосфате.

4. Какая частица является химическим эквивалентом монооксида углерода в реакции



5. Вычислите молярную массу эквивалента фосфористой кислоты, если она вступает в реакцию с гидроксидом натрия, в результате которой образуется фосфит натрия.

### Вариант 15

1. Какой объем водорода (л; н.у.) можно получить при растворении 26,98 г алюминия в избытке хлороводородной кислоты?

2. Разберите пример расчета, приведенный в табл. 2.1 учебника, и, пользуясь этим образцом, определите, в каком отношении находятся между собой массы водорода, приходящиеся на одну и ту же массу фосфора в монофосфине и дифосфине. Какой закон стехиометрии иллюстрирует ваш расчет?

3. Вычислите массовую долю (%) азота в мочеvine.

4. Какая частица является эквивалентом теллурической кислоты в реакции ее полной нейтрализации?

5. Вычислите молярную массу эквивалента диоксида серы в реакции



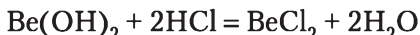
### Вариант 16

1. Какая масса (г) алюминия прореагировала с раствором гидроксида натрия, взятым в избытке, если в результате реакции образовалось 33,6 л (н.у.) водорода?

2. Вычислите плотности газообразных фтороводорода и хлороводорода при нормальных условиях. Найдите их отношение. Найдите отношение молярных масс этих газов. Сравните полученные вами отношения. Различаются ли они между собой? Следствием какого закона стехиометрии является полученное вами соотношение?

3. Вычислите массовую долю (%) фосфора в пересчете на  $\text{P}_2\text{O}_5$  в фосфоритной муке.

4. Какая частица является эквивалентом гидроксида бериллия в реакции



5. Вычислите молярную массу эквивалента уксусной кислоты, если она вступает в реакцию с гидроксидом натрия, в результате которой образуется ацетат натрия.

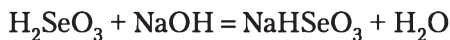
**Вариант 17**

1. Какой объем метана (л; н.у.) можно получить при взаимодействии с водой 72 г карбида алюминия?

2. Проанализируйте условия задач, приведенных под номерами 2 в вариантах 13 и 15. Из каких частиц (молекул или ионов) состоят вещества, о которых говорится в этих задачах? Подчиняются ли эти вещества закону постоянства состава? Можно ли сказать, что эти вещества являются нестехиометрическими соединениями?

3. Вычислите массовую долю (%) фосфора в пересчете на  $P_2O_5$  в диаммофосе.

4. Какая частица является эквивалентом селенистой кислоты в реакции



5. Вычислите молярную массу эквивалента меди в реакции

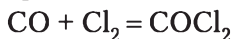
**Вариант 18**

1. Какую массу (г) метаборной кислоты можно получить из 2 моль ортоборной кислоты?

2. Напишите уравнение реакции взаимодействия монооксида азота с водородом. Какими небольшими целыми числами выражается отношение между объемами реагирующих между собой газов и газообразных продуктов реакции? Какому закону стехиометрии подчиняется полученное вами отношение?

3. Вычислите массовую долю (%) фосфора в пересчете на  $P_2O_5$  в обесфторенном фосфате.

4. Какая частица является химическим эквивалентом монооксида углерода в реакции



5. Вычислите молярную массу эквивалента серной кислоты, если она вступает в реакцию с гидроксидом натрия, в результате которой образуется гидросульфат натрия.

**Вариант 19**

1. Какую массу (г) оксида бора можно получить из 21,9 г метаборной кислоты?

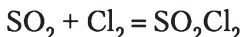
2. Разберите пример расчета, приведенный в табл. 2.1 учебника, и, пользуясь этим образцом, определите, в каком отношении находятся между собой массы водорода, приходящиеся

на одну и ту же массу кислорода в воде и пероксиде водорода. Какой закон стехиометрии иллюстрирует ваш расчет?

3. Вычислите массовую долю (%) калия в пересчете на  $K_2O$  в калимагнезии.

4. Какая частица является эквивалентом иодной кислоты в реакции ее полной нейтрализации?

5. Вычислите молярную массу эквивалента диоксида серы в реакции



### Вариант 20

1. Какой объем метана (л; н.у.) можно получить из 48 г графита?

2. Вычислите плотности газообразных оксида диазота и монооксида азота при н.у. Найдите их отношение. Найдите отношение молярных масс этих газов. Сравните полученные вами отношения. Различаются ли они между собой? Следствием какого закона стехиометрии является полученное вами отношение?

3. Вычислите массовую долю (%) калия в пересчете на  $K_2O$  в сильвините.

4. Какая частица является химическим эквивалентом гидроксида кальция в реакции его полной нейтрализации?

5. Вычислите молярную массу эквивалента карбоната натрия в реакции



### Вариант 21

1. Какой объем кислорода (л; при н.у.) вступит в реакцию с 107,92 г алюминия при сгорании этого металла?

2. Разберите пример расчета, приведенный в табл. 2.1 учебника, и, пользуясь этим образцом, определите, в каком отношении находятся между собой массы кислорода, приходящиеся на одну и ту же массу хлора в гексаоксиде дихлора и гептаоксиде дихлора. Какой закон стехиометрии иллюстрирует ваш расчет?

3. Вычислите массовую долю (%) азота в натриевой селитре.

4. Какая частица является эквивалентом азотноватистой кислоты в реакции ее полной нейтрализации?

5. Вычислите молярную массу эквивалента гидроксида кальция в реакции его полной нейтрализации.

**Вариант 22**

1. Какую массу (г) ортоборной кислоты можно получить из 0,5 моль метаборной кислоты?

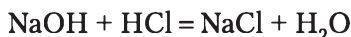
2. Напишите уравнение реакции взаимодействия оксида азота с аммиаком. Какими небольшими целыми числами выражается отношение объемов реагирующих между собой газов и газообразных продуктов реакции? Какому закону стехиометрии подчиняется полученное вами отношение?

3. Вычислите массовую долю (%) калия в пересчете на  $K_2O$  в калийной селитре.

4. Какая частица является химическим эквивалентом диоксида углерода в реакции



5. Вычислите молярную массу эквивалента гидроксида натрия в реакции

**Вариант 23**

1. Какой объем хлора (л; н.у.) потребуется для получения 77 г тетрахлорида углерода?

2. Проанализируйте условия задач, приведенных под номерами 2 в вариантах 19 и 21. Из каких частиц (молекул или ионов) состоят вещества, о которых говорится в этих задачах? Подчиняются ли эти вещества закону постоянства состава? Можно ли сказать, что эти вещества являются нестехиометрическими соединениями?

3. Вычислите массовую долю (%) калия в пересчете на  $K_2O$  в шените.

4. Какая частица является химическим эквивалентом фосфорноватистой кислоты, если она вступает в реакцию с избытком гидроксида натрия?

5. Вычислите молярную массу эквивалента карбоната натрия в реакции

**Вариант 24**

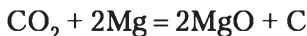
1. Какую массу (г) тетрабората натрия можно получить из 24,73 г ортоборной кислоты?

2. Вычислите плотности газообразных монооксида дихлора и диоксида хлора при н.у. Найдите их отношение и отношение молярных масс этих газов. Сравните полученные вами отношения. Различаются ли они между собой?

Следствием какого закона стехиометрии является полученное вами отношение?

3. Вычислите массовую долю (%) фосфора в пересчете на  $P_2O_5$  в преципитате.

4. Какая частица является химическим эквивалентом диоксида углерода в реакции



5. Вычислите молярную массу эквивалента гидроксида магния в реакции его полной нейтрализации.

### Вариант 25

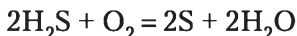
1. Какие количества (моль) ортоборной кислоты и гидроксида натрия потребуются для получения 6,58 г метабората натрия?

2. Разберите пример расчета, приведенный в табл. 2.1 учебника, и, пользуясь этим образцом, определите, в каком отношении находятся между собой массы серы, приходящиеся на одну и ту же массу фосфора в трисульфиде тетрафосфора и декасульфиде тетрафосфора. Какой закон стехиометрии иллюстрирует ваш расчет?

3. Вычислите массовую долю (%) калия в пересчете на  $K_2O$  в каините.

4. Какая частица является химическим эквивалентом хлороводородной кислоты, если она вступает в реакцию с избытком гидроксида натрия?

5. Вычислите молярную массу эквивалента сероводорода в реакции



### Вариант 26

1. Какой объем монооксида углерода (л; н.у.) можно получить из 92 г муравьиной кислоты  $HCOOH$ ?

2. Напишите уравнение реакции взаимодействия оксида диазота с водородом. Какими небольшими целыми числами выражается отношение объемов реагирующих между собой газов и газообразных продуктов реакции? Какому закону стехиометрии подчиняется полученное вами отношение?

3. Вычислите массовую долю (%) калия в пересчете на  $K_2O$  в лангбейните.

4. Какая частица является химическим эквивалентом алюминия в реакции его взаимодействия с раствором гидроксида натрия?

5. Вычислите молярную массу эквивалента трихлорида фосфора в реакции



### Вариант 27

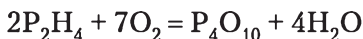
1. Какой объем водорода (л; н.у.) выделяется при взаимодействии с водой 0,5 моль диборана?

2. Разберите пример расчета, приведенный в табл. 2.1 учебника, и, пользуясь этим образцом, определите, в каком отношении находятся между собой массы водорода, приходящиеся на одну и ту же массу кремния в моносилане и дисилане. Какой закон стехиометрии иллюстрирует ваш расчет?

3. Вычислите массовую долю (%) калия в пересчете на  $\text{K}_2\text{O}$  в карналлите.

4. Какая частица является химическим эквивалентом азотистой кислоты, если она вступает в реакцию с избытком гидроксида натрия?

5. Вычислите молярную массу эквивалента дифосфина в реакции



### Вариант 28

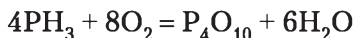
1. Вычислите объем сгоревшего диборана (л; н.у.), если в результате реакции образовалось 34,81 г оксида бора.

2. Вычислите плотности газообразных фтора и хлора при н.у. Найдите их отношение и отношение молярных масс этих газов. Сравните полученные вами отношения. Различаются ли они между собой? Следствием какого закона стехиометрии является полученное вами отношение?

3. Вычислите массовую долю (%) калия в пересчете на  $\text{K}_2\text{O}$  в сильвине.

4. Какая частица является химическим эквивалентом алюминия в реакции его взаимодействия с хлороводородной кислотой?

5. Вычислите молярную массу эквивалента фосфина в реакции



### Вариант 29

1. Какую массу (г) аморфного бора можно получить при восстановлении 69,62 г оксида бора металлическим магнием при температуре 700°C?

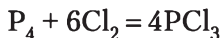


2. Проанализируйте условия задач, приведенных под номерами 2 в вариантах 25 и 27. Из каких частиц (молекул или ионов) состоят вещества, о которых говорится в этих задачах? Подчиняются ли эти вещества закону постоянства состава? Можно ли сказать, что эти вещества являются нестехиометрическими соединениями?

3. Вычислите массовую долю (%) азота в кальциевой селитре.

4. Какая частица является химическим эквивалентом бромоводородной кислоты, если она вступает в реакцию с избытком гидроксида натрия?

5. Вычислите молярную массу эквивалента фосфора в реакции



### Вариант 30

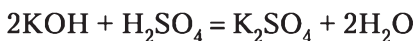
1. Какой объем монооксида углерода (л; н.у.) требуется для получения 120 г мочевины?

2. Напишите уравнение реакции синтеза хлороводорода из простых веществ. Какими небольшими целыми числами выражается отношение объемов реагирующих между собой газов и газообразных продуктов реакции? Какому закону стехиометрии подчиняется полученное вами отношение?

3. Вычислите массовую долю (%) фосфора в пересчете на  $\text{P}_2\text{O}_5$  в аммофосе.

4. Какая частица является химическим эквивалентом цинка в реакции его взаимодействия с хлороводородной кислотой?

5. Вычислите молярную массу эквивалента гидроксида калия в реакции



## Глава 2

# Скорость и энергетика химических реакций.

## Химическое равновесие

---

В результате успешного освоения материала этой главы студент должен:

— **знать:** определения понятий «скорость химической реакции», «константа скорости химической реакции», «химическое равновесие», «тепловой эффект химической реакции», основные факторы, влияющие на скорость реакции, закон действующих масс для элементарной стадии химической реакции и для химического равновесия, правило Вант-Гоффа, принцип Ле Шателье, второе начало термодинамики, условие самопроизвольного протекания химических реакций при постоянных давлении и температуре;

— **уметь:** определять направление смещения химического равновесия, использовать в практической деятельности представления и закономерности, изученные при освоении этой главы;

— **владеть:** навыками простейших расчетов скорости химической реакции, константы равновесия, равновесных и исходных концентраций, теплового эффекта реакции, изменений в результате реакции энтропии и энергии Гиббса.

**Изучите:** гл. 3—5 учебника.

---

### 2.1. Вопросы для подготовки к коллоквиуму

#### По теме «Скорость химической реакции»

1. Что такое скорость химической реакции?
2. От чего зависит скорость химической реакции?
3. Как читается закон действующих масс для скорости элементарной стадии химической реакции?
4. Каков физический смысл константы скорости химической реакции?
5. Как читается правило Вант-Гоффа?
6. Что такое энергия активации?
7. Что такое катализатор?

### По теме «Химическое равновесие»

1. Что такое химическое равновесие?
2. Каковы признаки истинного химического равновесия?
3. Как читается закон действующих масс для химического равновесия?
4. Что такое константа равновесия?
5. Что гласит принцип Ле Шателье?
6. В каком направлении смещается химическое равновесие: а) при увеличении концентрации реагентов; б) при повышении температуры?
7. В каком случае равновесие в реакции с участием газообразных веществ не смещается при изменении давления?

### По теме «Энергетика химических реакций»

1. Что такое внутренняя энергия?
2. Какой общенаучный закон называют первым началом термодинамики?
3. На что расходуется теплота, подводимая к системе?
4. Что такое тепловой эффект процесса?
5. Чем термохимическое уравнение отличается от обычного химического уравнения?
6. Как выбирают стандартное состояние вещества?
7. Как читается закон Гесса?
8. Какая функция состояния характеризует меру вероятности того или иного состояния этого вещества?
9. Какая функция состояния вещества не может убывать при самопроизвольных процессах в изолированных системах?
10. Каким образом изменяется энергия Гиббса в самопроизвольных реакциях, происходящих при постоянных давлении и температуре?

## 2.2. Примеры решения задач

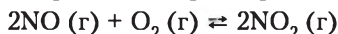
В этом разделе объединены весьма разнообразные задачи по темам «Скорость химических реакций», «Химическое равновесие» и «Энергетика химических реакций». В темах «Скорость химических реакций» и «Химическое равновесие» ключевую роль играет *закон действующих масс*. В химической кинетике он выражает зависимость скорости элементарной стадии реакции от концентраций реагирующих веществ. В учении о химическом равновесии этот закон связывает равновесные концентрации реагентов и продуктов обратимой реакции.

### Задачи на расчет скорости химических реакций

В данном учебном пособии приведены задачи, в которых демонстрируется зависимость скорости химической реакции от концентраций реагирующих веществ и от температуры.

#### Пример 2.1.

**Задача.** Вычислите среднюю скорость реакции



по NO, если исходная концентрация этого вещества составляла 1 моль/л, а через 10 с она стала равной 0,2 моль/л.

**Решение.**

$$\begin{aligned} c_1(\text{NO}) &= 1 \text{ моль/л} \\ c_2(\text{NO}) &= 0,2 \text{ моль/л} \\ \Delta t &= 10 \text{ с} \end{aligned}$$

$$\bar{v}(\text{NO}) = ?$$

Оксид азота(II) является в данной реакции одним из реагентов. Чтобы найти среднюю скорость реакции по реагенту, нужно изменение концентрации этого вещества  $\Delta c = c_2 - c_1$  разделить на  $\Delta t$  — величину промежутка времени, за который произошло это изменение:

$$\bar{v}(\text{NO}) = -\frac{\Delta c}{\Delta t} = -\frac{c_2 - c_1}{\Delta t}$$

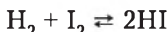
(знак «минус» перед дробью записывают для того, чтобы получить положительное значение скорости реакции).

$$\bar{v}(\text{NO}) = -\frac{0,2 - 1}{10} = 0,08 \text{ моль/}(\text{л} \cdot \text{с}).$$

**Ответ.** 0,08 моль/(\text{л} \cdot \text{с}).

#### Пример 2.2.

**Задача.** Экспериментально установлено, что для реакции синтеза иодоводорода из простых веществ



несмотря на ее сложный механизм, рассмотренный в гл. 4 учебника, зависимость скорости реакции от концентраций газообразного водорода и паров иода описывается уравнением

$$v = kc(\text{H}_2)c(\text{I}_2).$$

Определите, во сколько раз увеличится скорость этой реакции, если концентрации обоих реагентов увеличить в 2 раза.

**Решение.**

$$\begin{aligned} c_2(\text{H}_2) &= 2c_1(\text{H}_2) \\ c_2(\text{I}_2) &= 2c_1(\text{I}_2) \end{aligned}$$

$$v_2/v_1 = ?$$

В соответствии с приведенным в условиях задачи уравнением скорость реакции до увеличения концентраций равна

$$v_1 = kc_1(\text{H}_2)c_1(\text{I}_2).$$

После увеличения концентраций обоих реагентов в 2 раза она становится равной

$$v_2 = kc_2(\text{H}_2)c_2(\text{I}_2).$$

Чтобы определить, во сколько раз увеличилась скорость реакции, нужно  $v_2$  разделить на  $v_1$ :

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{kc_2(\text{H}_2)c_2(\text{I}_2)}{kc_1(\text{H}_2)c_1(\text{I}_2)}.$$

Учитывая, что концентрации обоих реагентов возросли в 2 раза, получаем

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{k2c_1(\text{H}_2) \cdot 2c_1(\text{I}_2)}{kc_1(\text{H}_2)c_1(\text{I}_2)}.$$

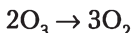
Числовое значение константы скорости химической реакции  $k$  не зависит от концентраций реагирующих веществ, поэтому можно сократить числитель и знаменатель дроби на эту величину. Также можно сократить их на имеющие одинаковые числовые значения концентраций  $c_1(\text{H}_2)$  и  $c_1(\text{I}_2)$ . После сокращения получаем

$$\frac{v_2}{v_1} = 4.$$

*Ответ.* Скорость реакции увеличится в 4 раза.

### Пример 2.3.

*Задача.* Во сколько раз увеличится скорость реакции разложения озона



(для которой справедливо уравнение  $v = kc^2(\text{O}_3)$ ) при увеличении давления в сосуде, в котором она протекает, в 6 раз?

*Решение.*

$p_2 = 6p_1$ $v_2/v_1 = ?$	Увеличить давление в сосуде можно, например, уменьшив объем реакционной смеси путем перемещения поршня, как это показано на рис. 2.1.
-------------------------------	---

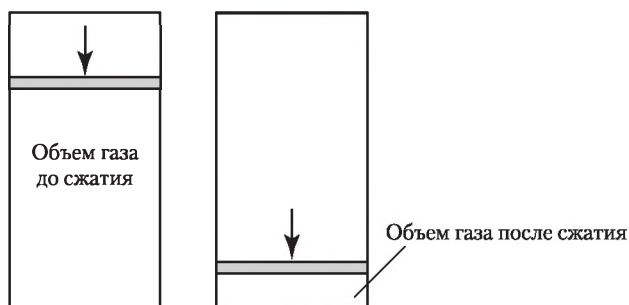
Согласно закону Бойля — Мариотта для увеличения давления в 6 раз нужно сжать газ так, чтобы его объем уменьшился в 6 раз. При сжатии происходит возрастание числа молекул газа в единице объема, т.е. увеличение концентрации. Следовательно, при увеличении давления в реакционном сосуде в 6 раз во столько же раз возрастет и концентрация газа, находящегося в этом сосуде, т.е.  $c_2(\text{O}_3) = 6c_1(\text{O}_3)$ .

Чтобы определить, во сколько раз возрастет скорость данной реакции при увеличении давления в 6 раз, разделим большую скорость на меньшую:

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{kc_2^2(\text{O}_3)}{kc_1^2(\text{O}_3)}.$$

Заменив в этом уравнении  $c_2(\text{O}_3)$  на  $6c_1(\text{O}_3)$ , получаем

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{k[6c_1(\text{O}_3)]^2}{kc_1^2(\text{O}_3)}.$$



**Рис. 2.1. Уменьшение объема газа при перемещении поршня в реакционном сосуде**

Следует обратить внимание на то, что в числителе дроби во вторую степень возводится не только  $c_1(\text{O}_3)$ , но и стоящий перед ней числовой множитель 6.

Раскрыв квадратные скобки, получаем

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{k6^2c_1^2(\text{O}_3)}{kc_1^2(\text{O}_3)}.$$

После сокращения числителя и знаменателя на  $k$  и  $c_1(\text{O}_3)$  находим отношение скоростей реакции разложения озона после увеличения давления и до него:

$$\frac{v_2}{v_1} = 36.$$

*Ответ.* В 36 раз.

### Задачи на правило Вант-Гоффа

Для решения задач, в которых рассматривается зависимость скорости химической реакции от температуры, можно воспользоваться математическим выражением правила Вант-Гоффа:

$$\frac{v_2}{v_1} = \gamma^{\frac{\Delta T}{10}},$$

где  $v_2$  — скорость реакции при повышенной температуре  $T_2$ ;  $v_1$  — скорость реакции при исходной температуре  $T_1$ ;  $\Delta T$  — разность температур  $T_2 - T_1$ ;  $\gamma$  — температурный коэффициент скорости реакции.

**Пример 2.4.**

**Задача.** Во сколько раз возрастет скорость реакции при повышении температуры с 20 до 40°C, если температурный коэффициент скорости реакции равен 3?

**Решение.**

$$T_1 = 20^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 40^\circ\text{C}$$

$$\gamma = 3_1$$

$$v_2/v_1 = ?$$

Подставив в математическое выражение правила Вант-Гоффа данные в условиях задачи числовые значения температур и температурного коэффициента скорости реакции, получаем

$$\frac{v_2}{v_1} = 3^{\frac{40-20}{10}} = 3^2 = 9.$$

**Ответ.** В 9 раз.

**Пример 2.5.**

**Задача.** На сколько градусов нужно повысить температуру, чтобы скорость реакции увеличилась в 8 раз, если температурный коэффициент скорости реакции равен 2?

**Решение.**

$$\frac{v_2}{v_1} = 8$$

$$\gamma = 2$$

$$\Delta T = ?$$

Подставив в математическое выражение правила Вант-Гоффа данные в условиях задачи числовые значения отношения скоростей и температурного коэффициента скорости реакции, получаем

$$8 = 2^{\frac{\Delta T}{10}}.$$

Чтобы найти числовое значение разности температур  $\Delta T$ , нужно прологарифмировать полученное уравнение:

$$\lg 8 = \frac{\Delta T}{10} \lg 2.$$

Десятичные логарифмы чисел 8 и 2 можно найти при помощи калькулятора, компьютера (воспользовавшись программой «Калькулятор») или таблиц мантийс десятичных логарифмов. Подставив в уравнение округленные значения логарифмов, получаем

$$0,903 = \frac{\Delta T}{10} 0,301.$$

Решаем это уравнение относительно  $\Delta T$ :

$$\Delta T = \frac{0,903}{0,301} 10 = 30.$$

**Ответ.** На 30°C.

**Пример 2.6.**

**Задача.** Вычислите температурный коэффициент скорости реакции, если при повышении температуры на 60°C скорость реакции возросла в 4000 раз.

*Решение.*

$$\frac{v_2}{v_1} = 4000$$

$$\Delta T = 60^\circ\text{C}$$

$$\gamma = ?$$

Подставив в математическое выражение правила Вант-Гоффа данные в условиях задачи числовые значения отношения скоростей и разности температур, получаем

$$4000 = \gamma^{\frac{60}{10}} = \gamma^6.$$

Решаем это уравнение относительно температурного коэффициента скорости реакции:

$$\gamma = \sqrt[6]{4000}.$$

Чтобы осуществить вычисления, нужно прологарифмировать это уравнение:

$$\lg \gamma = \frac{1}{6} \lg 4000 = \frac{1}{6} 3,60 = 0,60.$$

Так как десятичный логарифм числа — это показатель степени, в которую нужно возвести 10, чтобы получить данное число, для вычисления  $\gamma$  возводим 10 в степень 0,60:

$$\gamma = 10^{0,60} = 3,98.$$

*Ответ.* 3,98.

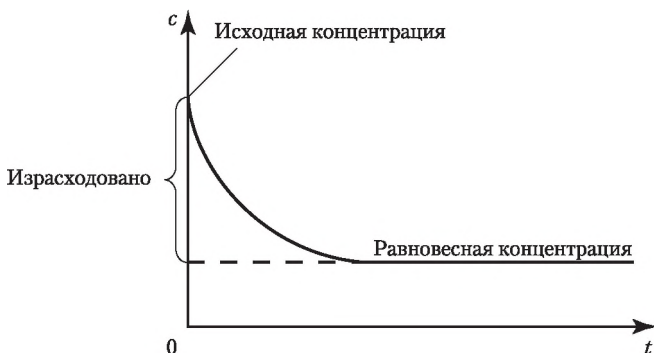
### Задачи по расчету равновесных концентраций и констант равновесия

Для решения задач этого типа необходимо хорошо усвоить закон действующих масс для химического равновесия.

В условиях таких задач, как правило, содержится много числовых значений концентраций реагентов и продуктов реакции. При этом следует различать исходные  $c_{\text{исх}}$  и равновесные  $c_{\text{равн}}$  концентрации. Исходные или начальные концентрации — это концентрации, которые имели место в реакционной смеси до начала протекания прямой реакции в момент смешения реагентов. Для каждого из реагентов начальная концентрация имеет самое большое числовое значение, так как в результате протекания прямой реакции концентрации реагентов убывают (рис. 2.2). Следует отметить, что в данном пособии приведены только такие задачи, в которых исходные концентрации продуктов реакции равны нулю, т.е. реакционные смеси в начальный момент всегда состоят только из реагентов, формулы которых записаны в левой части уравнения реакции.

Равновесные концентрации — это концентрации веществ в системе, в которой установилось химическое равновесие.





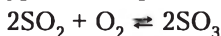
**Рис. 2.2. Изменение концентрации реагента в ходе реакции**

При постоянных температуре и давлении равновесные концентрации не изменяются сколь угодно долго.

Учитывая большое число значений концентраций, условия задачи и ход ее решения удобно представлять в виде таблицы, в столбцах которой указаны концентрации каждого из реагентов и продуктов реакции, а в строках — типы концентраций. При этом в одной из строк таблицы целесообразно записывать разность исходной и равновесной концентраций, т.е. количество вещества, израсходованное в единице объема, например в одном литре:  $c_{\text{исх}} - c_{\text{равн}} = c_{\text{изр}}$ .

**Пример 2.7.**

**Задача.** При температуре 1000 К равновесие в реакции



установилось при следующих концентрациях: диоксида серы 6,8 ммоль/л, кислорода 1,2 ммоль/л, триоксида серы 4,0 ммоль/л. Вычислите исходные концентрации диоксида серы и кислорода. Триоксида серы в исходной газовой смеси не было.

**Решение.** Запишем условия задачи в виде таблицы.

Концентрации	Вещества		
	SO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>
Исходные $c_{\text{исх}}$	?	?	0
Израсходовано в единице объема $c_{\text{изр}}$			0
Равновесные $c_{\text{равн}}$	6,8	1,2	4,0

Определить исходную концентрацию каждого из реагентов можно, если сложить равновесную концентрацию  $c_{\text{равн}}$  и количество вещества, израсходованное в единице объема  $c_{\text{изр}}$ . Чтобы

найти  $c_{\text{изр}}$ , нужно воспользоваться уравнением реакции, из которого очевидно, что 1 моль  $\text{SO}_3$  образуется из 1 моль  $\text{SO}_2$ . Следовательно, количество вещества (моль) образующегося триоксида серы равно количеству вещества (моль) вступившего в реакцию диоксида серы. Так как в состоянии равновесия в каждом литре газовой смеси содержится 4 ммоль  $\text{SO}_3$ , то на их образование израсходовано 4 ммоль/л  $\text{SO}_2$ . Таким образом, в исходной смеси содержалось  $6,8 + 4 = 10,8$  ммоль/л диоксида серы.

Производим аналогичный расчет для кислорода. Из уравнения реакции очевидно, что на образование 2 моль  $\text{SO}_3$  расходуется 1 моль  $\text{O}_2$ . Следовательно, количество вещества (моль) образующегося триоксида серы в 2 раза больше количества вещества (моль) вступившего в реакцию кислорода. Поэтому на образование 4 ммоль  $\text{SO}_3$  потребуется 2 ммоль  $\text{O}_2$ . Отсюда исходная концентрация кислорода, равная сумме равновесной концентрации и количества вещества, израсходованного в единице объема, составит  $1,2 + 2 = 3,2$  ммоль/л.

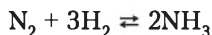
Представим решение задачи в виде таблицы.

Концентрации	Вещества		
	$\text{SO}_2$	$\text{O}_2$	$\text{SO}_3$
Исходные $c_{\text{исх}}$	10,8	3,2	0
Израсходовано в единице объема $c_{\text{изр}}$	4,0	2,0	0
Равновесные $c_{\text{равн}}$	6,8	1,2	4,0

*Ответ.* Исходные концентрации составляли: 10,8 ммоль/л  $\text{SO}_2$ , 3,2 ммоль/л  $\text{O}_2$ .

### Пример 2.8.

*Задача.* В реакции синтеза аммиака



исходная концентрация азота составляла 10 моль/л, исходная концентрация водорода равнялась 30 моль/л. Равновесие установилось при концентрации аммиака, равной 18 моль/л. Вычислите равновесные концентрации азота и водорода, определите числовое значение константы равновесия.

*Решение.* Представим условия задачи в виде таблицы.

Концентрации	Вещества		
	$\text{N}_2$	$\text{H}_2$	$\text{NH}_3$
Исходные $c_{\text{исх}}$	10	30	0
Израсходовано в единице объема $c_{\text{изр}}$			0
Равновесные $c_{\text{равн}}$	?	?	18

Равновесные концентрации реагентов можно определить как разности исходных концентраций и количеств вещества, израсходованных в единице объема. Израсходованные количества веществ можно рассчитать по уравнению реакции исходя из равновесной концентрации аммиака. Из уравнения реакции очевидно, что на образование 2 моль аммиака расходуется 1 моль азота, т.е. количество вещества (моль) вступающего в реакцию азота в 2 раза меньше количества вещества (моль) образующегося аммиака. Поэтому на образование 18 моль  $\text{NH}_3$  израсходовано 9 моль/л азота. Равновесная концентрация азота равна  $c_{\text{исх}}(\text{N}_2) - c_{\text{изр}}(\text{N}_2)$ , т.е.  $10 - 9 = 1$  моль/л.

Аналогично находим равновесную концентрацию водорода. Из уравнения реакции очевидно, что на образование 2 моль аммиака расходуется 3 моль водорода, т.е. количество вещества (моль) израсходованного водорода в  $3/2$  раза больше количества вещества образовавшегося аммиака. Так как по условию задачи равновесная концентрация аммиака составляет 18 моль/л, количество вещества водорода, израсходованного в единице объема,  $c_{\text{изр}}(\text{H}_2)$  равно 27 моль/л ( $3/2 \cdot 18$ ). Отсюда равновесная концентрация водорода, равная  $c_{\text{исх}}(\text{H}_2) - c_{\text{изр}}(\text{H}_2)$ , составляет  $30 - 27 = 3$  моль/л. Представим теперь решение задачи в виде таблицы.

Концентрации	Вещества		
	$\text{N}_2$	$\text{H}_2$	$\text{NH}_3$
Исходные $c_{\text{исх}}$	10	30	0
Израсходовано в единице объема $c_{\text{изр}}$	9	27	0
Равновесные $c_{\text{равн}}$	1	3	18

Теперь, зная равновесные концентрации реагентов и продукта реакции, находим числовое значение константы равновесия. Для этого прежде всего необходимо записать для реакции синтеза аммиака математическое выражение константы равновесия в соответствии с законом действующих масс:

$$K = \frac{[\text{NH}_3]^2}{[\text{N}_2][\text{H}_2]^3}.$$

Подставляя в это уравнение числовые значения равновесных концентраций, получаем

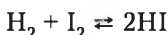
$$K = \frac{18^2}{1 \cdot 3^3} = 12.$$

*Ответ.* Равновесные концентрации:  $[\text{N}_2] = 1$  моль/л,  $[\text{H}_2] = 3$  моль/л,  $[\text{NH}_3] = 18$  моль/л, константа равновесия равна 12.

### Пример 2.9.

*Задача.* В герметично закрытый реакционный сосуд вместимостью 1 л поместили 1 ммоль водорода и 1 ммоль иода, сосуд

нагрели до 448°С. Чему будут равняться равновесные концентрации всех веществ в этом сосуде, если константа равновесия для реакции



при указанной температуре равна 50,53?

*Решение.* Представим условия задачи в виде таблицы.

Концентрации	Вещества		
	$\text{H}_2$	$\text{I}_2$	$\text{HI}$
Исходные $c_{\text{исх}}$	1	1	0
Израсходовано в единице объема $c_{\text{изр}}$			0
Равновесные $c_{\text{равн}}$	?	?	?

Какие количества (моль) водорода и иода вступили в реакцию, нам неизвестно. Эти неизвестные количества вещества, израсходованные в единице объема, обозначим через  $x$  ммоль/л. Тогда равновесные концентрации водорода и иода можно обозначить через  $(1 - x)$  ммоль/л. Из уравнения реакции следует, что из 1 моль иода и 1 моль водорода образуется 2 моль иодоводорода, т.е. количество образующегося иодоводорода в 2 раза больше, чем количество вступившего в реакцию иода или водорода. Поэтому если в реакцию вступает  $x$  моль  $\text{H}_2$  или  $\text{I}_2$ , то образуется  $2x$  моль  $\text{HI}$ . В виде таблицы результаты этих рассуждений выглядят следующим образом.

Концентрации	Вещества		
	$\text{H}_2$	$\text{I}_2$	$\text{HI}$
Исходные $c_{\text{исх}}$	1	1	0
Израсходовано в единице объема $c_{\text{изр}}$	$x$	$x$	0
Равновесные $c_{\text{равн}}$	$1 - x$	$1 - x$	$2x$

Найти числовое значение  $x$  можно, используя уравнение для константы равновесия, полученное в соответствии с законом действующих масс:

$$K = \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2][\text{I}_2]}.$$

Подставив в это уравнение выражения равновесных концентраций через  $x$ , получаем

$$K = \frac{(2x)^2}{(1-x)(1-x)}.$$

После преобразований это уравнение принимает вид

$$(4 - K)x^2 + 2Kx - K = 0.$$

Подставляем в него числовое значение константы равновесия:

$$-46,53x^2 + 101,06x - 50,53 = 0.$$

Это квадратное уравнение, которое в общем виде записывается так:

$$ax^2 + bx + c = 0.$$

Оно имеет два корня:

$$x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}.$$

Находим корни квадратного уравнения, полученного из выражения для константы равновесия:

$$x_{1,2} = \frac{-101,06 \pm \sqrt{101,06^2 - 4 \cdot 46,53 \cdot 50,53}}{2 \cdot (-46,53)},$$

$$x_1 = 0,78 \text{ и } x_2 = 1,39.$$

Корень  $x_2$  противоречит условиям задачи и должен быть отброшен, так как в реакцию не может вступить большее количество вещества, чем то, которое имелось вначале, а  $1,39 > 1$ .

Таким образом, равновесная концентрация иодоводорода равна 1,56 ммоль/л, а равновесные концентрации иода и водорода, равные  $1 - x$ , составляют  $1 - 0,78 = 0,22$  ммоль/л.

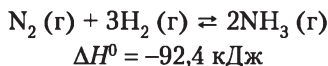
*Ответ.*  $[HI] = 1,56$  ммоль/л,  $[H_2] = 0,22$  ммоль/л,  $[I_2] = 0,22$  ммоль/л.

### Задачи на принцип Ле Шателье

Как правило, задачи на принцип Ле Шателье не вызывают затруднений, если хорошо усвоена соответствующая теория. Следует только обратить внимание на знак теплового эффекта реакции. Если  $\Delta H_{\text{реакции}}$  меньше нуля, то реакция идет с выделением теплоты, т.е. является экзотермической. Если  $\Delta H_{\text{реакции}}$  больше нуля, то реакция сопровождается поглощением теплоты, т.е. является эндотермической.

#### Пример 2.10.

*Задача.* В каком направлении сместится равновесие реакции синтеза аммиака



при повышении температуры?

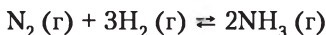
**Решение.** Отрицательное значение теплового эффекта реакции свидетельствует о том, что прямая реакция — экзотермическая, т.е. сопровождается выделением теплоты. Отвечая на поставленный в задаче вопрос, теплоту удобно рассматривать как один из продуктов реакции. В соответствии с принципом Ле Шателье равновесие смещается в направлении той из взаимно противоположных реакций, которая ослабляет последствия внешнего воздействия. Если внешнее воздействие состоит в повышении температуры, т.е. увеличении количества теплоты в системе, то для ослабления этого воздействия равновесие должно сместиться в сторону той реакции, которая сопровождается поглощением теплоты, т.е. эндотермической реакции. В данном случае эндотермической является обратная реакция — реакция разложения аммиака. Поэтому при повышении температуры равновесие сместится влево, в сторону обратной реакции.

**Ответ.** Равновесие сместится влево.

Одна из важнейших целей изучения обратимых реакций — это выбор условий, при которых равновесие в исследуемой системе смещается в желательном направлении. В химической технологии стремятся достичь наиболее полного превращения реагентов в продукты, т.е. максимального выхода целевого продукта. Для достижения этой цели необходимо выбрать такие условия протекания обратимой реакции, при которых в состоянии равновесия количество вещества или концентрация продукта реакции будут наибольшими, а количество вещества или концентрации реагентов будут наименьшими. Осуществить выбор таких условий на качественном уровне помогает принцип Ле Шателье.

### Пример 2.11.

**Задача.** Увеличится ли выход продукта реакции



$$\Delta H = -92,4 \text{ кДж},$$

если понизить температуру и повысить давление?

**Решение.** Прямая реакция является экзотермической ( $\Delta H < 0$ ), поэтому понижение температуры вызовет смещение равновесия в сторону продукта реакции. Вследствие повышения давления равновесие также сместится в этом направлении, так как прямая реакция приводит к уменьшению числа молекул (сумма стехиометрических коэффициентов в левой части уравнения реакции  $1 + 3 = 4$ , а в правой части уравнения стехиометрический коэффициент равен 2, следовательно, и суммарное число молекул азота и водорода, вступивших в реакцию, больше, чем число молекул аммиака, образовавшихся в результате реакции). Таким образом, и понижение температуры, и повышение давления вызывают

увеличение равновесной концентрации продукта реакции – аммиака, т.е. увеличение его выхода.

*Ответ.* Да.

### Задачи по энергетике химических реакций

В данном пособии приведены задачи двух типов. Задачи первого типа призваны сформировать навыки расчетов тепловых эффектов реакций, изменения энтропии и энергии Гиббса в результате реакции. В этих задачах используют однотипные уравнения:

1)  $\Delta H^0_{\text{реакции}} = \sum[\Delta H^0_{f, 298}(\text{продукты})] - \sum[\Delta H^0_{f, 298}(\text{реагенты})]$ , где  $\sum[\Delta H^0_{f, 298}(\text{реагенты})]$  – сумма стандартных молярных энтальпий образования реагентов,  $\sum[\Delta H^0_{f, 298}(\text{продукты})]$  – сумма стандартных молярных энтальпий образования продуктов реакции;

2)  $\Delta S^0_{\text{реакции}} = \sum[S^0(\text{продукты})] - \sum[S^0(\text{реагенты})]$ , где  $\sum[S^0(\text{продукты})]$  – сумма стандартных молярных энтропий продуктов реакции,  $\sum[S^0(\text{реагенты})]$  – сумма стандартных молярных энтропий реагентов;

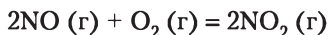
3)  $\Delta G^0_{\text{реакции}} = \sum[\Delta G^0_{f, 298}(\text{продукты})] - \sum[\Delta G^0_{f, 298}(\text{реагенты})]$ , где  $\sum[\Delta G^0_{f, 298}(\text{продукты})]$  – сумма стандартных молярных энергий Гиббса образования продуктов реакции,  $\sum[\Delta G^0_{f, 298}(\text{реагенты})]$  – сумма стандартных молярных энергий Гиббса образования реагентов.

При суммировании следует учитывать стехиометрические коэффициенты перед формулами реагентов и продуктов.

Рассчитав тепловой эффект реакции, можно сказать, является ли данная реакция экзотермической ( $\Delta H^0_{\text{реакции}} < 0$ ) или эндотермической ( $\Delta H^0_{\text{реакции}} > 0$ ).

#### Пример 2.12.

*Задача.* Вычислите тепловой эффект реакции



Является ли данная реакция экзотермической или эндотермической?

*Решение.* Тепловой эффект этой реакции можно рассчитать при помощи уравнения

$$\Delta H^0_{\text{реакции}} = 2\Delta H^0_{f, 298}(\text{NO}_2) - [2\Delta H^0_{f, 298}(\text{NO}) + \Delta H^0_{f, 298}(\text{O}_2)],$$

в котором стандартные энтальпии веществ, участвующих в реакции, умножены на стехиометрические коэффициенты, стоящие в уравнении реакции перед химическими формулами этих веществ.

Необходимые для расчета значения стандартных молярных энтальпий образования оксидов азота находим в прил. 1. Для монооксида азота  $\Delta H_{f, 298}^0(\text{NO}) = 90,25$  кДж/моль, для диоксида азота  $\Delta H_{f, 298}^0(\text{NO}_2) = 33,0$  кДж/моль. Для простого вещества — кислорода  $\Delta H_{f, 298}^0(\text{O}_2) = 0$  кДж/моль. Подставляя эти значения в расчетное уравнение, получаем

$$\Delta H_{\text{реакции}}^0 = 2 \cdot 33,0 - [2 \cdot 90,25 - 0] = -114,5 \text{ кДж.}$$

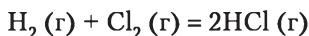
Реакция является экзотермической, т.е. идет с выделением теплоты, о чем свидетельствует отрицательное значение  $\Delta H_{\text{реакции}}^0$ .

*Ответ.*  $-114,5$  кДж, реакция экзотермическая.

Вычисление изменения энтропии в результате реакции — важный этап в расчете  $\Delta G_{\text{реакции}}^0$ . При расчете  $\Delta S_{\text{реакции}}^0$  следует обратить внимание на то, что стандартные молярные энтропии реакции измеряются в Дж/(моль · К).

### Пример 2.13.

*Задача.* Вычислите изменение энтропии в результате реакции



*Решение.* Изменение энтропии в результате этой реакции рассчитываем при помощи уравнения

$$\Delta S_{\text{реакции}}^0 = 2S^0(\text{HCl}) - [S^0(\text{H}_2) + S^0(\text{Cl}_2)],$$

в котором стандартные энтропии веществ умножены на стехиометрические коэффициенты, стоящие в уравнении реакции перед химическими формулами этих веществ.

Необходимые для расчета значения стандартных энтропий находим в прил. 1. Для хлороводорода  $S^0(\text{HCl}) = 186,8$  Дж/(моль · К); для водорода  $S^0(\text{H}_2) = 130,5$  Дж/(моль · К); для хлора  $S^0(\text{Cl}_2) = 222,9$  Дж/(моль · К). Подставляя эти значения в расчетное уравнение, получаем

$$\Delta S_{\text{реакции}}^0 = 2 \cdot 186,8 - [130,5 + 222,9] = 20,2 \text{ Дж/(моль · К).}$$

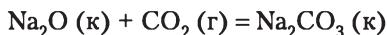
*Ответ.*  $20,2$  Дж/(моль · К).

Расчет изменения энергии Гиббса в результате реакции позволяет сказать, может ли самопроизвольно протекать данная реакция при постоянных давлении и температуре. Если  $\Delta G_{\text{реакции}}^0 < 0$ , то такая реакция при постоянных давлении и температуре может протекать самопроизвольно. Однако при проведении термодинамических расчетов всегда следует помнить, что полученные результаты говорят только о принципиальной возможности протекания реакций, но ничего не говорят об их скорости.



**Пример 2.14.**

**Задача.** При давлении 101,3 кПа и температуре 298,15 К вычислите изменение энергии Гиббса в реакции



Может ли эта реакция протекать самопроизвольно при указанных условиях?

**Решение.** Изменение энергии Гиббса в результате этой реакции можно рассчитать при помощи уравнения

$$\Delta G^0_{\text{реакции}} = \Delta G^0_{f, 298}(\text{Na}_2\text{CO}_3) - [\Delta G^0_{f, 298}(\text{Na}_2\text{O}) + \Delta G^0_{f, 298}(\text{CO}_2)].$$

Стехиометрические коэффициенты в уравнении химической реакции равны единице, поэтому в расчетном уравнении отсутствуют множители перед обозначениями стандартных молярных энергий Гиббса образования реагентов и продукта реакции.

Необходимые для расчета значения стандартных энергий Гиббса можно найти в прил. 1. Для оксида натрия  $\Delta G^0_{f, 298}(\text{Na}_2\text{O}) = -377,1$  кДж/моль, для диоксида углерода  $\Delta G^0_{f, 298}(\text{CO}_2) = -394,4$  кДж/моль, для карбоната натрия  $\Delta G^0_{f, 298}(\text{Na}_2\text{CO}_3) = -1047,5$  кДж/моль. Подставляя эти значения в расчетное уравнение, получаем

$$\Delta G^0_{\text{реакции}} = -1047,5 - [-377,1 + (-394,4)] = -276,0 \text{ кДж}.$$

Эта реакция может протекать самопроизвольно, так как  $\Delta G^0_{\text{реакции}} < 0$ .

**Ответ.** -276,0 кДж, да.

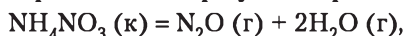
Задачи второго типа посвящены расчетам изменения энергии Гиббса в результате реакции  $\Delta G^0_{\text{реакции}}$ , исходя из известных значений теплового эффекта реакции  $\Delta H^0_{\text{реакции}}$  и изменения энтропии  $\Delta S^0_{\text{реакции}}$ . В этом случае для расчета используют уравнение

$$\Delta G^0_{\text{реакции}} = \Delta H^0_{\text{реакции}} - T\Delta S^0_{\text{реакции}}$$

Это же уравнение позволяет оценить влияние температуры на  $\Delta G^0_{\text{реакции}}$  (в таких случаях, как правило, пренебрегают небольшим изменением  $\Delta H^0_{\text{реакции}}$  и  $\Delta S^0_{\text{реакции}}$  в зависимости от температуры), а также влияние энтальпийного  $\Delta H^0_{\text{реакции}}$  и энтропийного  $-T\Delta S^0_{\text{реакции}}$  вкладов в числовое значение изменения энергии Гиббса.

**Пример 2.15.**

**Задача.** При давлении 101,3 кПа и температуре 298,15 К вычислите изменение энергии Гиббса в результате реакции



если  $\Delta H^0_{\text{реакции}} = -36,2$  кДж и  $\Delta S^0_{\text{реакции}} = 446$  Дж/К.

Может ли эта реакция протекать самопроизвольно при указанных выше условиях?

*Решение.* Для расчета воспользуемся уравнением

$$\Delta G^0_{\text{реакции}} = \Delta H^0_{\text{реакции}} - T\Delta S^0_{\text{реакции}}$$

Переводим  $\Delta S^0_{\text{реакции}}$  из джоулей на кельвин в килоджоули на кельвин:  $446 \text{ Дж/К} = 0,446 \text{ кДж/К}$  и подставим в это уравнение данные в условиях задачи числовые значения:

$$\Delta G^0_{\text{реакции}} = -36,2 - 298,15 \cdot 0,446 = -169,2 \text{ кДж.}$$

Реакция может протекать самопроизвольно, так как  $\Delta G^0_{\text{реакции}} < 0$ , но тем не менее нитрат аммония существует при обычных условиях. Эта соль наряду со многими другими соединениями азота неустойчива термодинамически, но устойчива кинетически.

*Ответ.*  $-169,2 \text{ кДж}$ , да.

### Пример 2.16.

*Задача.* Вычислите изменение энергии Гиббса в результате реакции



при давлении  $101,3 \text{ кПа}$  и двух температурах: а)  $25^\circ\text{C}$  ( $298,15 \text{ К}$ ) и б)  $800^\circ\text{C}$  ( $1098,15 \text{ К}$ ). При какой из этих температур реакция может протекать самопроизвольно? Для этой реакции  $\Delta H^0_{\text{реакции}} = 550,5 \text{ кДж}$ ,  $\Delta S^0_{\text{реакции}} = 542 \text{ Дж/К}$ .

*Решение.* Для расчета воспользуемся уравнением

$$\Delta G^0_{\text{реакции}} = \Delta H^0_{\text{реакции}} - T\Delta S^0_{\text{реакции}}$$

Переведем  $\Delta S^0_{\text{реакции}}$  из джоулей на кельвин в килоджоули на кельвин:  $542 \text{ Дж/К} = 0,542 \text{ кДж/К}$  и вычислим сначала энтропийный вклад в изменение энергии Гиббса при температуре  $25^\circ\text{C}$  ( $298,15 \text{ К}$ ):

$$-T\Delta S^0_{\text{реакции}} = -298,15 \cdot 0,542 = -161,6 \text{ кДж.}$$

Очевидно, что при этой температуре энтропийный вклад по абсолютной величине меньше, чем энтальпийный вклад, и поэтому  $\Delta G^0_{\text{реакции}}$  имеет положительный знак:

$$\Delta G^0_{\text{реакции}} = 550,5 - 161,6 = 388,9 \text{ кДж.}$$

Итак, при температуре  $25^\circ\text{C}$  реакция не может протекать самопроизвольно, так как  $\Delta G^0_{\text{реакции}} > 0$ .

Теперь вычислим изменение энергии Гиббса при температуре  $800^\circ\text{C}$  ( $1098,15 \text{ К}$ ), пренебрегая зависимостью  $\Delta H^0_{\text{реакции}}$  и  $\Delta S^0_{\text{реакции}}$  от температуры:

$$\Delta G^0_{\text{реакции}} = 550,5 - 1098,15 \cdot 0,542 = -44,7 \text{ кДж.}$$

При этой температуре энтропийный вклад  $-T\Delta S^0_{\text{реакции}} = -1098,15 \cdot 0,542 = -595,2 \text{ кДж}$  по абсолютной величине больше,

чем энтальпийный вклад, и поэтому изменение энергии Гиббса в реакции имеет отрицательное значение, что свидетельствует о возможности самопроизвольного протекания реакции при этой температуре.

*Ответ.* При  $25^{\circ}\text{C}$   $\Delta G^0_{\text{реакции}} = 388,9 \text{ кДж}$ , реакция самопроизвольно протекать не может; при  $800^{\circ}\text{C}$   $\Delta G^0_{\text{реакции}} = -44,7 \text{ кДж}$ , реакция может протекать самопроизвольно.

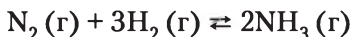
## 2.3. Индивидуальные задания

### Вариант 1

1. До начала брожения в 1 л виноградного сусла содержалось 4 мг растворенного кислорода, спустя 72 ч после начала брожения содержание кислорода уменьшилось до 0,9 мг в том же объеме сусла. Вычислите среднюю скорость реакции потребления растворенного кислорода в процессе брожения в ммоль/(л · ч).

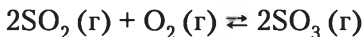
2. Во сколько раз увеличится скорость реакции при повышении температуры на  $40^{\circ}\text{C}$ , если температурный коэффициент скорости реакции равен 2,5?

3. Равновесие в системе



установилось при следующих концентрациях:  $[\text{N}_2] = 6 \text{ моль/л}$ ,  $[\text{H}_2] = 18 \text{ моль/л}$ ,  $[\text{NH}_3] = 8 \text{ моль/л}$ . Вычислите константу равновесия и исходные концентрации азота и водорода. Аммиака в исходной газовой смеси не было.

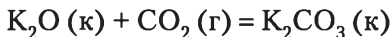
4. В каком направлении сместится равновесие реакции



$$\Delta H = -284 \text{ кДж}$$

а) при повышении температуры; б) при увеличении объема?

5. Вычислите тепловой эффект реакции



Является ли данная реакция экзотермической или эндотермической?

### Вариант 2

1. Фосфорная кислота, получаемая экстракционным методом, содержит много примесей. К числу наиболее вредных из них и подлежащих удалению относятся фторид-ионы.

Вычислите среднюю скорость процесса дефторирования экстракционной фосфорной кислоты в моль/(л · ч), если начальная концентрация фторидов составляла 0,22 моль/л, а через 40 мин она уменьшилась до 0,12 моль/л.

2. На сколько градусов нужно повысить температуру, чтобы скорость реакции возросла в 27 раз, если температурный коэффициент скорости реакции равен 3?

3. В герметично закрытый сосуд вместимостью 1 л поместили 0,1 моль пентахлорида фосфора. При нагревании до некоторой температуры 50% исходного количества пентахлорида фосфора разложилось и установилось равновесие:



Вычислите равновесные концентрации пентахлорида фосфора и продуктов реакции, а также константу равновесия.

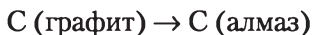
4. В каком направлении сместится равновесие реакции



$$\Delta H = 172 \text{ кДж}$$

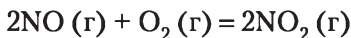
а) при повышении температуры; б) при увеличении давления?

5. Вычислите изменение энтропии для следующего процесса:



### Вариант 3

1. Начальная скорость реакции

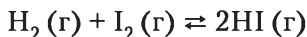


составила 0,03 моль/(л · с). Затем реакционный объем уменьшили в 2 раза. Определите новое значение скорости реакции, если экспериментально установлено, что зависимость скорости реакции от концентраций реагентов описывается уравнением

$$v = kc^2(\text{NO})c(\text{O}_2).$$

2. Вычислите температурный коэффициент скорости реакции, если при повышении температуры на 40°C ее скорость возрастает в 16 раз.

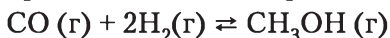
3. В герметично закрытом сосуде при температуре 448°C происходит реакция синтеза иодоводорода:



Какое количество водорода (моль) приходилось в исходной реакционной смеси на 1 моль иода, если равновесие

установилось, когда 90% иода превратилось в иодоводород? Константа равновесия равна 50. Иодоводорода в исходной смеси не было.

4. В каком направлении сместится равновесие в системе



$$\Delta H = -128 \text{ кДж}$$

а) при повышении давления; б) при понижении температуры?

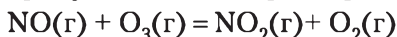
5. При давлении 101,3 кПа и температуре 298,15 К вычислите изменение энергии Гиббса в результате реакции



Может ли эта реакция протекать самопроизвольно при указанных условиях?

#### Вариант 4

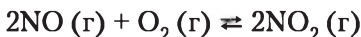
1. Во сколько раз увеличится скорость реакции



для которой справедливо уравнение  $v = kc(\text{NO})c(\text{O}_3)$ , если увеличить давление в сосуде, в котором она протекает, в 3 раза?

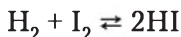
2. Во сколько раз увеличится скорость реакции, если температура повышается с 200 до 250°C, а температурный коэффициент скорости реакции равен 2?

3. В герметично закрытом сосуде происходит обратимая реакция



константа равновесия для которой равна 2. Вычислите исходную концентрацию кислорода, если равновесные концентрации равны  $[\text{NO}] = 0,01$  моль/л,  $[\text{NO}_2] = 0,02$  моль/л.

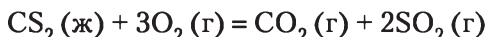
4. В каком направлении сместится равновесие в системе



$$\Delta H = 54 \text{ кДж}$$

а) при увеличении давления; б) при повышении температуры?

5. При давлении 101,3 кПа и температуре 298,15 К вычислите изменение энергии Гиббса в результате реакции



если  $\Delta H^0_{\text{реакции}} = -1076,01$  кДж и  $\Delta S^0_{\text{реакции}} = -56,26$  Дж/К.

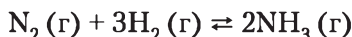
Может ли эта реакция протекать самопроизвольно при указанных условиях?

### Вариант 5

1. В технологическом процессе получения шампанского в момент добавления сахара и дрожжей в 100 мл вина содержится 0,40 мг растворенного кислорода, через сутки его содержание уменьшается до 0,22 мг в том же объеме вина. Вычислите среднюю скорость ассимиляции растворенного кислорода в ммоль/(л · ч).

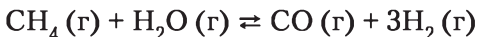
2. При температуре 120°C скорость реакции составляла 2 ммоль/(л · мин). При какой температуре скорость реакции станет равной 18 ммоль/(л · мин), если температурный коэффициент скорости реакции равен 3?

3. Равновесие в системе



установилось при следующих концентрациях:  $[\text{N}_2] = 3 \cdot 10^{-3}$  моль/л,  $[\text{H}_2] = 2 \cdot 10^{-3}$  моль/л,  $[\text{NH}_3] = 0,1$  моль/л. Вычислите константу равновесия. В каких единицах она измеряется?

4. В каком направлении сместится равновесие реакции



$$\Delta H = 206 \text{ кДж}$$

а) при повышении давления; б) при повышении температуры?

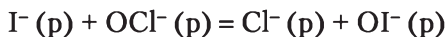
5. Вычислите тепловой эффект реакции



Является ли данная реакция экзотермической или эндотермической?

### Вариант 6

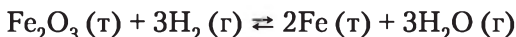
1. Для протекающего в растворе взаимодействия иодид- и гипохлорит-ионов:



справедливо уравнение  $v = kc(\text{I}^-)c(\text{OCl}^-)$ . Во сколько раз уменьшится скорость этой реакции, если разбавить раствор водой в 2 раза?

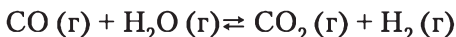
2. При повышении температуры с 78 до 92°C скорость реакции увеличилась в 8 раз. Вычислите температурный коэффициент скорости реакции.

3. Константа равновесия реакции



при температуре 340°C равна 0,064. Вычислите равновесную концентрацию воды и исходную концентрацию водорода, если равновесная концентрация водорода составляет 0,02 моль/л. Паров воды в начале реакции не было.

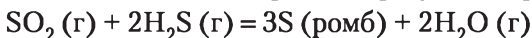
4. В каком направлении сместится равновесие реакции



$$\Delta H = -41 \text{ кДж}$$

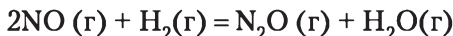
а) при повышении температуры; б) при понижении давления?

5. Вычислите изменение энтропии в результате реакции



### Вариант 7

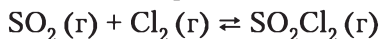
1. Скорость реакции



для которой справедливо уравнение  $v = kc^2(\text{NO})c(\text{H}_2)$ , равна 1,2 ммоль/(л · с). Вычислите константу скорости этой реакции, если концентрация монооксида азота равна 1,2 ммоль/л, а концентрация водорода составляет 0,37 ммоль/л.

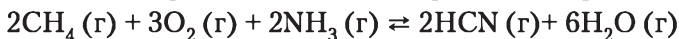
2. Во сколько раз скорость реакции при 20°C меньше, чем при 80°C, если температурный коэффициент скорости реакции равен 3?

3. Вычислите равновесные концентрации реагентов в реакции образования дихлорид-диоксида серы



если их исходные концентрации были равны между собой и равнялись 2,5 моль/л, а равновесная концентрация  $\text{SO}_2\text{Cl}_2$  составляет 1,5 моль/л.

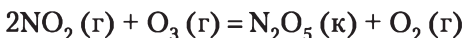
4. В каком направлении сместится равновесие реакции



$$\Delta H = -939 \text{ кДж}$$

а) при понижении температуры; б) при повышении давления?

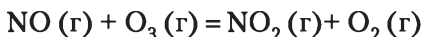
5. При давлении 101,3 кПа и температуре 298,15 К вычислите изменение энергии Гиббса в результате реакции



Может ли эта реакция протекать самопроизвольно при указанных условиях?

## Вариант 8

1. Во сколько раз увеличится скорость реакции



для которой справедливо уравнение  $v = kc(\text{NO})c(\text{O}_3)$ , если концентрацию монооксида азота увеличить в 2 раза, а концентрацию озона — в 3 раза?

2. При температуре 238°C скорость реакции составляла 5 ммоль/(л · мин). При какой температуре скорость этой реакции будет равной 31,25 ммоль/(л · мин), если температурный коэффициент скорости реакции равен 2,5?

3. В герметично закрытый сосуд вместимостью 1 л поместили 0,02 моль иодоводорода и нагрели до температуры 448°C, при этом часть иодоводорода разложилась и установилось равновесие:



Вычислите равновесные концентрации иодоводорода, иода и водорода, если константа равновесия в этих условиях равна 50,53.

4. В каком направлении сместится равновесие реакции разложения дихлорид-оксида углерода (фосгена)



а) при повышении давления; б) при удалении хлора из сферы реакции?

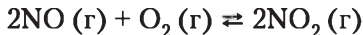
5. Вычислите изменение энергии Гиббса в результате реакции



при давлении 101,3 кПа и двух температурах: а) 200°C (473,15 К); б) 1200°C (1473,15 К). При какой из этих температур реакция может протекать самопроизвольно? Для этой реакции  $\Delta H_{\text{реакции}}^0 = 172,47 \text{ кДж}$ ,  $\Delta S_{\text{реакции}}^0 = 175,66 \text{ Дж/К}$ .

## Вариант 9

1. Вычислите среднюю скорость реакции



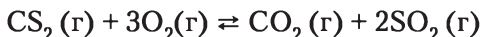
по  $\text{NO}_2$ , если в исходной газовой смеси этого вещества не было, а через 20 с после начала реакции его концентрация составила 0,8 моль/л.

2. Вычислите температурный коэффициент скорости реакции, если при температуре 35°C скорость реакции



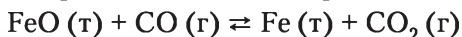
составляет 0,2 моль/(л · с), а при температуре 70°C она равна 25,6 моль/(л · с).

3. При некоторой температуре в герметично закрытом сосуде установилось химическое равновесие:



Вычислите константу равновесия и исходные концентрации реагентов, если равновесные концентрации равны:  $[\text{CS}_2] = 0,2$  моль/л,  $[\text{O}_2] = 0,1$  моль/л,  $[\text{CO}_2] = 0,35$  моль/л,  $[\text{SO}_2] = 0,7$  моль/л.

4. В каком направлении сместится равновесие реакции



- а) при удалении диоксида углерода из сферы реакции;  
б) при повышении давления?

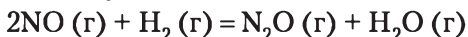
5. Вычислите тепловой эффект реакции



Является ли данная реакция экзотермической или эндотермической?

### Вариант 10

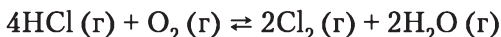
1. Во сколько раз увеличится скорость реакции



для которой справедливо уравнение  $v = kc^2(\text{NO})c(\text{H}_2)$ , если увеличить давление в реакторе в 3 раза?

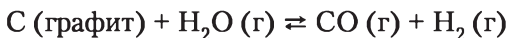
2. Скорость реакции при температуре 25°C равна 0,5 моль/(л · с). Вычислите скорость этой реакции при температуре 45°C, если температурный коэффициент скорости реакции равен 3,5.

3. В герметично закрытый сосуд вместимостью 1 л поместили 0,3 моль хлороводорода и 0,15 моль кислорода. В результате протекания обратимой реакции



установилось химическое равновесие. Вычислите константу равновесия, если  $[\text{Cl}_2] = 0,06$  моль/л.

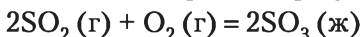
4. Увеличится ли выход продуктов реакции



$$\Delta H = -131,3 \text{ кДж}$$

при одновременном повышении температуры и давления?

5. Вычислите изменение энтропии в результате реакции



### Вариант 11

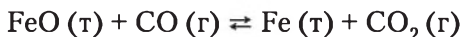
1. Вычислите скорость реакции разложения пентаоксида диазота, растворенного в тетрахлориде углерода, если константа скорости реакции



равна  $6,2 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$ , концентрация  $\text{N}_2\text{O}_5$  составляет 0,5 моль/л и для этой реакции справедливо уравнение  $v = kc(\text{N}_2\text{O}_5)$ .

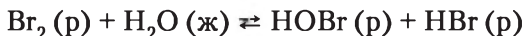
2. При некоторой температуре скорость реакции составляет 122,5 ммоль/(л · мин). На сколько градусов нужно понизить температуру, чтобы скорость этой реакции снизилась до 10 ммоль/(л · мин), если температурный коэффициент скорости реакции равен 3,5?

3. Вычислите равновесные концентрации газообразных веществ в системе



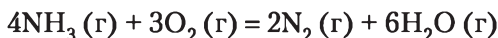
если исходная концентрация монооксида углерода составляла 0,1 моль/л, диоксида углерода в начале реакции не было, а константа равновесия  $K_c$  равна 0,5.

4. В каком направлении сместится равновесие, устанавливающееся в водном растворе брома:



а) при уменьшении концентрации брома; б) при добавлении в раствор щелочи?

5. При давлении 101,3 кПа и температуре 298,15 К вычислите изменение энергии Гиббса в результате реакции

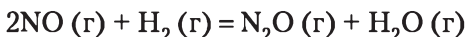


если  $\Delta H^0_{\text{реакции}} = -1266,16 \text{ кДж}$  и  $\Delta S^0_{\text{реакции}} = 146,6 \text{ Дж/К}$ .

Может ли эта реакция протекать самопроизвольно при указанных выше условиях?

### Вариант 12

1. Начальная скорость реакции

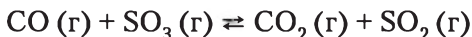


для которой справедливо уравнение  $v = kc^2(\text{NO})c(\text{H}_2)$ , равна 24 ммоль/(л · с). Вычислите константу скорости этой реакции, если исходная концентрация монооксида азота составляла 1,2 моль/л, а исходная концентрация водорода 0,74 моль/л.

2. Вычислите температурный коэффициент скорости реакции, если при температуре 25°C скорость реакции

составляет 0,1 моль/(л · с), а при температуре 50°C она равна 3,2 моль/(л · с).

3. При некоторой температуре в герметично закрытом сосуде установилось химическое равновесие:



Вычислите константу равновесия и исходные концентрации реагентов, если равновесные концентрации равны:  $[\text{CO}] = 0,4$  моль/л,  $[\text{SO}_3] = 0,3$  моль/л,  $[\text{CO}_2] = 0,5$  моль/л,  $[\text{SO}_2] = 0,5$  моль/л.

4. В каком направлении сместится равновесие в системе



а) при повышении давления; б) при поглощении циановодорода из реакционной смеси?

5. При давлении 101,3 кПа и температуре 298,15 К вычислите изменение энергии Гиббса в результате реакции



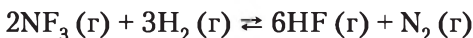
Может ли эта реакция протекать самопроизвольно при указанных условиях?

### Вариант 13

1. При шампанизации вина резервуарным методом до брожения в 1 л вина содержалось 8,2 мг растворенного кислорода, через 10 сут после начала процесса шампанизации содержание кислорода в том же объеме виноматериалов снизилось до 4 мг. Вычислите среднюю скорость ассимиляции кислорода в ммоль/(л · ч).

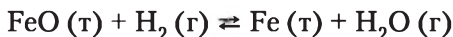
2. Во сколько раз увеличится скорость реакции при повышении температуры на 40°C, если температурный коэффициент скорости реакции равен 3,5?

3. В герметично закрытый сосуд вместимостью 1 л поместили 0,6 моль трифторида азота и 0,4 моль водорода. В результате протекания обратимой реакции



установилось химическое равновесие. Вычислите константу равновесия, если  $[\text{N}_2] = 0,06$  моль/л.

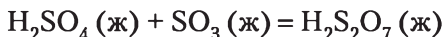
4. В каком направлении сместится равновесие в системе



$$\Delta H = 23 \text{ кДж}$$

а) при повышении температуры; б) при понижении давления?

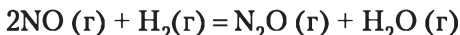
5. Вычислите тепловой эффект реакции образования пирсерной кислоты:



Является ли данная реакция экзотермической или эндотермической?

### Вариант 14

1. Во сколько раз увеличится скорость реакции



для которой справедливо уравнение  $v = kc^2(\text{NO})c(\text{H}_2)$ , если концентрацию монооксида азота увеличить в 3 раза, а концентрацию водорода — в 2 раза?

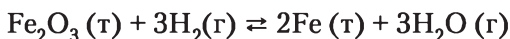
2. На сколько градусов нужно повысить температуру, чтобы скорость реакции возросла в 64 раза, если температурный коэффициент скорости реакции равен 4?

3. В герметично закрытый сосуд вместимостью 1 л поместили 0,045 моль триоксида диазота. В результате протекания обратимой реакции при некоторой температуре установилось химическое равновесие:



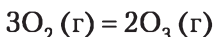
Вычислите константу равновесия, если  $[\text{N}_2\text{O}_3] = 2$  ммоль/л.

4. В каком направлении сместится равновесие в системе



а) при общем повышении давления в системе; б) при повышении парциального давления водорода?

5. Вычислите изменение энтропии в результате реакции



### Вариант 15

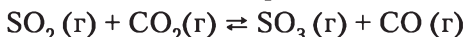
1. Начальная скорость реакции разложения пентаоксида диазота, растворенного в тетрахлориде углерода,



равна 12,4 ммоль/(л · с). Вычислите концентрацию растворенного вещества в исходном растворе, если константа скорости этой реакции равна  $6,2 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$  и для нее справедливо уравнение  $v = kc(\text{N}_2\text{O}_5)$ .

2. Вычислите температурный коэффициент скорости реакции, если при повышении температуры на 50°C ее скорость возрастает в 1000 раз.

3. При некоторой температуре в герметично закрытом сосуде установилось химическое равновесие:



Вычислите константу равновесия и исходные концентрации реагентов, если равновесные концентрации равны:  $[\text{SO}_2] = 0,5$  моль/л,  $[\text{CO}_2] = 0,1$  моль/л,  $[\text{SO}_3] = 0,4$  моль/л,  $[\text{CO}] = 0,4$  моль/л.

4. Увеличится ли выход пентахлорида фосфора по обратной реакции



$$\Delta H = -124 \text{ кДж}$$

а) при увеличении давления; б) при повышении температуры?

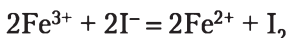
5. При давлении 101,3 кПа и температуре 298,15 К вычислите изменение энергии Гиббса в результате реакции разложения перхлората калия



Может ли эта реакция протекать самопроизвольно при указанных условиях? Почему перхлорат калия при обычных условиях не разлагается?

### Вариант 16

1. Для протекающей в растворе реакции окисления иодид-ионов:



справедливо уравнение  $v = k c(\text{Fe}^{3+}) c^2(\text{I}^-)$ .

Изменится ли скорость реакции, если концентрацию иодид-ионов увеличить в 3 раза, а концентрацию катионов  $\text{Fe}^{3+}$  уменьшить в 9 раз?

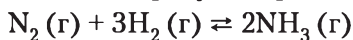
2. Во сколько раз увеличится скорость реакции, если температура повышается со 175 до 195°C, а температурный коэффициент скорости реакции равен 2,8?

3. В герметично закрытый сосуд вместимостью 1 л поместили 15 ммоль иодоводорода. В результате протекания обратной реакции при некоторой температуре установилось химическое равновесие:



Вычислите константу равновесия, если  $[\text{HI}] = 1$  ммоль/л.

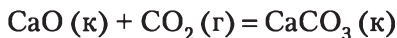
4. Увеличится ли выход продуктов реакции



$$\Delta H = -92 \text{ кДж}$$

а) при повышении температуры; б) при повышении давления?

5. При давлении 101,3 кПа и температуре 298,15 К вычислите изменение энергии Гиббса в результате реакции



если  $\Delta H^0_{\text{реакции}} = -177,99 \text{ кДж}$  и  $\Delta S^0_{\text{реакции}} = -164,68 \text{ Дж/К}$ .

Может ли эта реакция протекать самопроизвольно при указанных условиях?

### Вариант 17

1. Скорость реакции взаимодействия металлического магния с разбавленным раствором хлороводородной кислоты составляет 4 ммоль/(л · с). Вычислите константу скорости этой реакции, если концентрация HCl равна 0,5 моль/л, а экспериментально установленная зависимость скорости этой реакции от концентрации кислоты описывается уравнением:  $v = kc^2(\text{HCl})$ .

2. При температуре 443,15 К скорость реакции составляла 24,5 ммоль/(л · с). При какой температуре скорость реакции станет равной 7 ммоль/(л · с), если температурный коэффициент скорости реакции равен 3,5?

3. В герметично закрытый сосуд вместимостью 1 л поместили 0,8 моль бромоводорода. В результате протекания обратимой реакции при некоторой температуре установилось химическое равновесие:



Вычислите равновесные концентрации исходного вещества и продуктов реакции, если константа равновесия  $K_c = 0,4$ .

4. В какую сторону сместится равновесие реакции



$$\Delta H = 40 \text{ кДж}$$

а) при понижении температуры; б) при повышении давления?

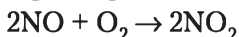
5. Вычислите тепловой эффект реакции



Является ли данная реакция экзотермической или эндотермической?

### Вариант 18

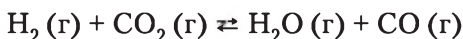
1. Как изменится скорость реакции



если повысить давление в реакторе 4 раза? Экспериментально установлено, что зависимость скорости реакции от концентраций реагентов описывается уравнением  $v = kc^2(\text{NO})c(\text{O}_2)$ .

2. При повышении температуры с 20 до 55°C скорость реакции увеличилась в 128 раз. Вычислите температурный коэффициент скорости реакции.

3. При некоторой температуре в герметично закрытом сосуде установилось химическое равновесие:



Вычислите константу равновесия и исходные концентрации реагентов, если равновесные концентрации равны:  $[\text{H}_2] = 0,6$  моль/л,  $[\text{CO}_2] = 0,4$  моль/л,  $[\text{H}_2\text{O}] = 0,8$  моль/л,  $[\text{CO}] = 0,8$  моль/л.

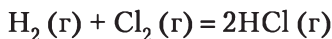
4. В каком направлении сместится равновесие в системе



$$\Delta H = 92,4 \text{ кДж}$$

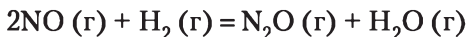
а) при повышении давления; б) при повышении температуры?

5. Вычислите изменение энтропии в результате реакции



### Вариант 19

1. В реакторе смешали равные объемы водорода и монооксида азота. Начальная скорость реакции между этими веществами



равна 2,25 ммоль/(л · с). Вычислите исходные концентрации обоих газов (моль/л), если константа скорости реакции равна 22,5 с<sup>-1</sup>.

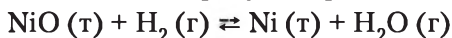
2. Во сколько раз скорость реакции при 480°C меньше, чем при 515°C, если температурный коэффициент скорости реакции равен 3?

3. В герметично закрытый сосуд вместимостью 1 л поместили 0,05 моль дихлорид-диоксида серы. В результате протекания обратимой реакции при некоторой температуре установилось химическое равновесие:



Вычислите константу равновесия, если  $[\text{SO}_2] = 0,01$  моль/л.

4. Увеличится ли выход продуктов реакции



$$\Delta H = -2 \text{ кДж}$$

а) при повышении температуры; б) при повышении давления?

5. При давлении 101,3 кПа и температуре 298,15 К вычислите изменение энергии Гиббса в результате реакции разложения нитрата натрия:



Может ли эта реакция протекать самопроизвольно при указанных условиях?

### Вариант 20

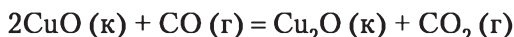
1. Во сколько раз увеличится скорость реакции



при увеличении давления в 2 раза, если экспериментально установлено, что зависимость скорости реакции от концентрации реагента описывается уравнением  $v = kc^2(\text{N}_2\text{O})$ ?

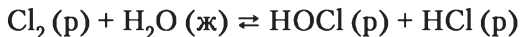
2. При температуре 4443,15 К скорость реакции составляла 24,2 ммоль/(л · мин). При какой температуре скорость этой реакции будет равной 5 ммоль/(л · мин), если температурный коэффициент скорости реакции равен 2,5?

3. Вычислите равновесные концентрации газообразных веществ в системе



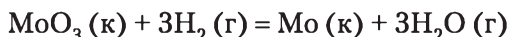
если исходная концентрация монооксида углерода равна 3 моль/л, диоксида углерода в начале реакции не было, а константа равновесия  $K_c = 15$ .

4. В каком направлении сместится равновесие, устанавливающееся в водном растворе хлора:



а) при уменьшении концентрации хлора; б) при связывании HCl оксидом ртути HgO?

5. При давлении 101,3 кПа и температуре 298,15 К вычислите изменение энергии Гиббса в результате реакции, используемой в промышленности для получения металлического молибдена:



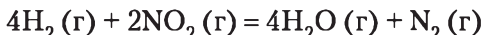
если  $\Delta H^\circ_{\text{реакции}} = 19,74 \text{ кДж}$  и  $\Delta S^\circ_{\text{реакции}} = 125,46 \text{ Дж/К}$ .

Может ли эта реакция протекать самопроизвольно при указанных выше условиях?



**Вариант 21**

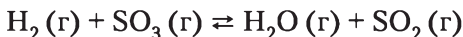
1. Во сколько раз увеличится скорость реакции



при увеличении давления в 3 раза, если экспериментально установлено, что зависимость скорости реакции от концентрации реагентов описывается уравнением  $v = kc^2(\text{NO}_2)c(\text{H}_2)$ ?

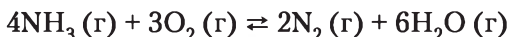
2. Вычислите температурный коэффициент скорости реакции, если при температуре 298,15 К скорость реакции составляет 0,1 моль/(л · с), а при температуре 313,15 К она равна 0,8 моль/(л · с).

3. При некоторой температуре в герметично закрытом сосуде установилось химическое равновесие:



Вычислите константу равновесия и исходные концентрации реагентов, если равновесные концентрации равны:  $[\text{H}_2] = 0,25$  моль/л,  $[\text{SO}_3] = 0,15$  моль/л,  $[\text{H}_2\text{O}] = 0,3$  моль/л,  $[\text{SO}_2] = 0,3$  моль/л.

4. Реакция горения аммиака до некоторой степени обратима. В каком направлении смещено равновесие в системе



если константа равновесия  $K_c = 10^{229}$ ? В каком направлении сместится равновесие в этой системе при повышении давления?

5. Вычислите тепловой эффект реакции образования дихлорида-диоксида серы (старое название хлористый сульфурил):



Является ли данная реакция экзотермической или эндотермической?

**Вариант 22**

1. Экспериментально установлено, что зависимость скорости разложения газообразного пентаоксида азота



от концентрации этого вещества описывается уравнением  $v = kc(\text{N}_2\text{O}_5)$ . Во сколько раз уменьшится скорость этой реакции при уменьшении концентрации от 40 до 10 ммоль/л?

2. Скорость реакции при температуре 250°C равна 0,2 моль/(л · с). Вычислите скорость этой реакции при

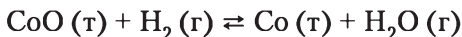
температуре 200°C, если температурный коэффициент скорости реакции равен 2.

3. В герметично закрытый сосуд вместимостью 1 л поместили 3,5 ммоль дихлорид-оксида углерода. В результате протекания обратимой реакции при некоторой температуре установилось химическое равновесие:



Вычислите константу равновесия, если  $[\text{COCl}_2] = 2$  ммоль/л.

4. Увеличится ли выход продуктов реакции



$$\Delta H = -2,5 \text{ кДж}$$

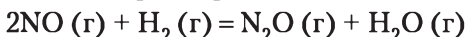
а) при повышении температуры; б) при повышении давления?

5. Вычислите изменение энтропии в результате реакции



### Вариант 23

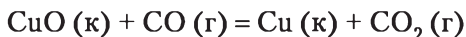
1. Изменится ли скорость реакции



для которой справедливо уравнение  $v = kc^2(\text{NO})c(\text{H}_2)$ , если концентрацию монооксида азота увеличить в 2 раза, а концентрацию водорода уменьшить в 4 раза?

2. При некоторой температуре скорость реакции составляет 563 ммоль/(л · мин). На сколько градусов нужно понизить температуру, чтобы скорость этой реакции снизилась до 20 ммоль/(л · мин), если температурный коэффициент скорости реакции равен 3,8?

3. Вычислите равновесные концентрации газообразных веществ в системе



если исходная концентрация монооксида углерода равна 4 моль/л, диоксида углерода в начале реакции не было, а константа равновесия  $K_c = 12$ .

4. В каком направлении сместится равновесие в системе



$$\Delta H = -74,8 \text{ кДж}$$

а) при повышении температуры; б) при повышении давления?

5. При давлении 101,3 кПа и температуре 298,15 К вычислите изменение энергии Гиббса в результате реакции горения моносилана



Может ли эта реакция протекать самопроизвольно при указанных условиях?

### Вариант 24

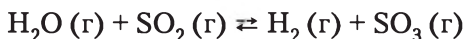
1. Во сколько раз увеличится скорость реакции



при увеличении давления в 3 раза, если экспериментально установлено, что зависимость скорости реакции от концентрации реагента описывается уравнением  $v = kc(\text{N}_2\text{O}_5)$ ?

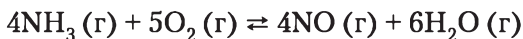
2. Вычислите температурный коэффициент скорости реакции, если при температуре 533,15 К скорость реакции составляет 5,4 ммоль/(л · с), а при температуре 583,15 К она равна 594 ммоль/(л · с).

3. При некоторой температуре в герметично закрытом сосуде установилось химическое равновесие:



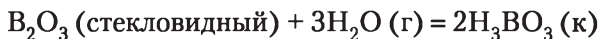
Вычислите константу равновесия и исходные концентрации реагентов, если равновесные концентрации равны:  $[\text{H}_2\text{O}] = 0,5$  моль/л,  $[\text{SO}_2] = 0,2$  моль/л,  $[\text{H}_2] = 0,4$  моль/л,  $[\text{SO}_3] = 0,4$  моль/л.

4. Реакция каталитического окисления аммиака до некоторой степени обратима. В каком направлении смещено равновесие в системе



если константа равновесия  $K_c = 10^{168}$ ? В каком направлении сместится равновесие в этой системе при повышении давления?

5. При давлении 101,3 кПа и температуре 298,15 К вычислите изменение энергии Гиббса в результате реакции

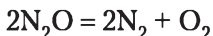


если  $\Delta H_{\text{реакции}}^0 = -208,54$  кДж и  $\Delta S_{\text{реакции}}^0 = -24,82$  Дж/К.

Может ли эта реакция протекать самопроизвольно при указанных условиях?

### Вариант 25

1. Во сколько раз увеличится скорость реакции



при увеличении давления в 10 раз, если экспериментально установлено, что зависимость скорости реакции от концентрации реагента описывается уравнением  $v = kc^2(\text{N}_2\text{O})$ ?

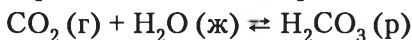
2. Во сколько раз увеличится скорость реакции при повышении температуры на  $40^\circ\text{C}$ , если температурный коэффициент скорости реакции равен 3,2?

3. В герметично закрытый сосуд вместимостью 1 л поместили 5,3 ммоль пентахлорида фосфора. В результате протекания обратимой реакции при некоторой температуре установилось химическое равновесие:



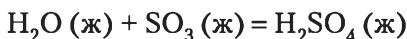
Вычислите константу равновесия, если  $[\text{PCl}_5] = 2$  ммоль/л.

4. В каком направлении сместится равновесие в системе



при повышении давления?

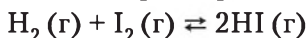
5. Вычислите тепловой эффект реакции образования серной кислоты



Является ли данная реакция экзотермической или эндотермической?

### Вариант 26

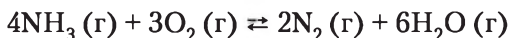
1. Вычислите среднюю скорость реакции



по водороду, если его первоначальная концентрация составляла 0,3 моль/л, а через 15 мин после начала реакции она уменьшилась в 2 раза.

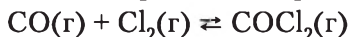
2. На сколько градусов нужно повысить температуру, чтобы скорость реакции возросла в 81 раз, если температурный коэффициент скорости реакции равен 3?

3. В результате протекания до некоторой степени обратимой реакции горения аммиака установилось химическое равновесие:



Во сколько раз константа скорости обратной реакции меньше константы скорости прямой реакции, если константа равновесия  $K_c$  равна  $10^{229}$ ?

4. Увеличится ли выход фосгена в обратимой реакции



$$\Delta H = -113 \text{ кДж}$$

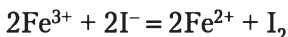
а) при увеличении давления; б) при повышении температуры?

5. Вычислите изменение энтропии в результате реакции



### Вариант 27

1. Для протекающей в растворе реакции окисления иодид-ионов:



справедливо уравнение  $v = kc(\text{Fe}^{3+})c^2(\text{I}^-)$ .

Во сколько раз увеличится скорость реакции, если концентрацию иодид-ионов увеличить в 3 раза, а концентрацию катионов  $\text{Fe}^{3+}$  — на 50%?

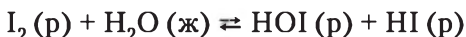
2. Вычислите температурный коэффициент скорости реакции, если при повышении температуры на  $60^\circ\text{C}$  ее скорость возросла в 4000 раз.

3. При некоторой температуре в герметично закрытом сосуде установилось химическое равновесие:



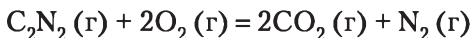
Вычислите константу равновесия и исходную концентрацию водорода, если равновесные концентрации равны:  $[\text{H}_2] = 0,25$  моль/л,  $[\text{H}_2\text{O}] = 0,04$  моль/л.

4. В каком направлении сместится равновесие, устанавливающееся в водном растворе иода:



а) при уменьшении концентрации иода; б) при добавлении в раствор щелочи?

5. При давлении 101,3 кПа и температуре 298,15 К вычислите изменение энергии Гиббса в результате реакции горения дициана:



Может ли эта реакция протекать самопроизвольно при указанных условиях?

### Вариант 28

1. При шампанизации вина резервуарным методом до брожения в 1 л вина содержалось 8,2 мг растворенного кислорода, через 10 сут после начала процесса шампанизации содержание кислорода в том же объеме виноматериалов

снизилось до 4 мг. Вычислите среднюю скорость ассимиляции кислорода в ммоль/(л · ч).

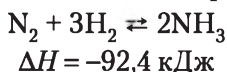
2. Во сколько раз уменьшится скорость реакции, если температура понижается с 200 до 175°C, а температурный коэффициент скорости реакции равен 3?

3. В герметично закрытый сосуд вместимостью 1 л поместили 0,045 моль триоксида диазота. В результате протекания обратимой реакции при некоторой температуре установилось химическое равновесие:



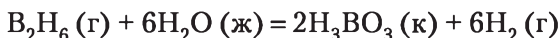
Вычислите равновесные концентрации исходного вещества и продуктов реакции, если  $K_c = 1$ .

4. Увеличится ли выход аммиака в реакции



при одновременном понижении температуры и повышении давления?

5. При давлении 101,3 кПа и температуре 298,15 К вычислите изменение энергии Гиббса в результате реакции

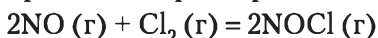


если  $\Delta H^0_{\text{реакции}} = -511,52 \text{ кДж}$  и  $\Delta S^0_{\text{реакции}} = 308,12 \text{ Дж/К}$ .

Может ли эта реакция протекать самопроизвольно при указанных выше условиях?

### Вариант 29

1. Вычислите среднюю скорость реакции



по NO, если его исходная концентрация составляла 0,5 моль/л, а через 20 с она стала равной 0,1 моль/л.

2. При температуре 215°C скорость реакции составляла 25 ммоль/(л · с). При какой температуре скорость реакции станет равной 4 ммоль/(л · с), если температурный коэффициент скорости реакции равен 2,5?

3. В герметично закрытый сосуд вместимостью 1 л поместили 3,7 ммоль бромоводорода. В результате протекания обратимой реакции при некоторой температуре установилось химическое равновесие:



Вычислите константу равновесия, если  $[\text{H}_2] = 0,85 \text{ ммоль/л}$ .

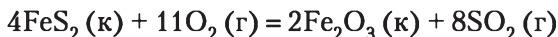
4. При осуществлении в замкнутом пространстве реакция



$$\Delta H = 180 \text{ кДж}$$

становится обратимой. В какую сторону сместится равновесие: а) при повышении давления; б) при повышении температуры?

5. Вычислите тепловой эффект реакции



Является ли данная реакция экзотермической или эндотермической?

### Вариант 30

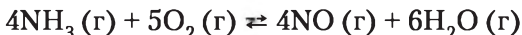
1. Экспериментально установлено, что зависимость скорости разложения газообразного пентаоксида азота



от концентрации этого вещества описывается уравнением  $v = k_c(\text{N}_2\text{O}_5)$ . Вычислите скорость этой реакции, если концентрация  $\text{N}_2\text{O}_5$  составляет 20 ммоль/л, а константа скорости реакции равна  $1,6 \text{ ч}^{-1}$ .

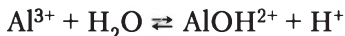
2. При повышении температуры со 125 до  $150^\circ\text{C}$  скорость реакции увеличилась в 32 раза. Вычислите температурный коэффициент скорости реакции.

3. В результате протекания до некоторой степени обратимой реакции каталитического окисления аммиака установилось химическое равновесие:



Во сколько раз константа скорости обратной реакции меньше константы скорости прямой реакции, если константа равновесия  $K_c$  равна  $10^{168}$ ?

4. В каком направлении сместится равновесие реакции



$$\Delta H = 47 \text{ кДж}$$

- а) при повышении температуры; б) при добавлении щелочи?

5. Вычислите изменение энтропии в результате реакции



## Глава 3

# Способы выражения состава растворов

---

В результате успешного освоения материала этой главы студент должен:

— **знать:** наиболее употребимые способы выражения состава растворов (молярная концентрация, молярная концентрация эквивалента, массовая доля, титр);

— **уметь:** производить расчеты, необходимые для приготовления растворов заданного состава, вычислять изменения состава растворов при их разбавлении и концентрировании, переходить от одного способа выражения состава растворов к другому;

— **владеть:** представлениями о причинах образования растворов.

**Изучите:** гл. 6 учебника.

**Повторите:** параграф 2.2 гл. 2 учебника.

---

### 3.1. Вопросы для подготовки к коллоквиуму

1. Что такое раствор?

2. Какой знак имеет  $\Delta G$  процессов растворения? Как может изменяться энтропия, если процесс растворения является экзотермическим? Какой знак имеет  $\Delta S$  для эндотермических процессов растворения?

3. Назовите все типы взаимодействия между частицами растворенного вещества и растворителя, приводящие к образованию растворов.

4. В чем заключается главное отличие сил Ван-дер-Ваальса от химических сил, вызывающих образование растворов?

5. Назовите основные способы выражения состава растворов.

### 3.2. Примеры решения задач

Для решения любого типа задач, связанных с вычислениями состава растворов, нужно выучить приведенные в учебнике уравнения (6.1)—(6.7) для расчета молярной



концентрации, молярной концентрации эквивалента, титра и массовой доли.

### Задачи на расчет концентраций и массовых долей растворенных веществ

Это наиболее простой тип задач. Для их решения нужно подставить данные в условиях задачи числовые значения масс растворенных веществ, масс или объемов растворов в соответствующее уравнение и произвести вычисления. При этом следует иметь в виду, что все уравнения (6.1)–(6.7) справедливы при условии, что объем раствора выражен в миллилитрах, поэтому во избежание ошибок нужно быть внимательными при пересчете объемов из одних единиц измерения в другие. Следует помнить, что  $1 \text{ л} = 1000 \text{ мл}$ .

Единицы измерения объема литр (л) и миллилитр (мл) не входят в систему единиц СИ. В строгом соответствии с СИ объем следует измерять в кубических метрах ( $\text{м}^3$ ) и дольных от него единицах: кубических дециметрах ( $\text{дм}^3$ ) и кубических сантиметрах ( $\text{см}^3$ ). Однако в лабораторной практике редко приходится иметь дело с большими объемами растворов, которые целесообразно измерять в кубических метрах. Кроме того, запись единиц объемов с использованием показателей степени кажется громоздкой, поэтому вместо кубического дециметра химики чаще пользуются равной ему единицей — литром ( $1 \text{ л} = 1 \text{ дм}^3$ ), а вместо кубического сантиметра — миллилитром ( $1 \text{ мл} = 1 \text{ см}^3$ ).

#### Пример 3.1.

**Задача.** Вычислите молярную концентрацию хлорида натрия, если в 100 мл раствора содержится 5,84 г этого вещества.

**Решение.**

$V = 100 \text{ мл}$ $m(\text{NaCl}) = 5,84 \text{ г}$ $c(\text{NaCl}) = ?$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Для расчета пользуемся уравнением (6.1).} \\ \text{Растворенным веществом в этой задаче является} \\ \text{хлорид натрия, поэтому вместо обобщенного обо-} \\ \text{значения растворенного вещества В в уравнение} \\ \text{подставляем формулу хлорида натрия NaCl:} \end{array} \right.$
---	--

$$c(\text{NaCl}) = \frac{m(\text{NaCl})}{M(\text{NaCl})V} 1000.$$

Подставляем в него числовые значения массы хлорида натрия и объема раствора и вычисляем молярную концентрацию:

$$c(\text{NaCl}) = \frac{5,84}{58,4 \cdot 100} 1000 = 1 \text{ моль/л.}$$

**Ответ.** 1 моль/л.

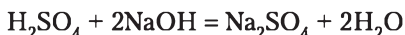
**Пример 3.2.**

**Задача.** В 500 мл раствора содержится 19,6 г серной кислоты. Вычислите молярную концентрацию эквивалента серной кислоты в этом растворе при условии полной нейтрализации.

**Решение.**

$$\begin{array}{l} V = 500 \text{ мл} \\ m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 19,6 \text{ г} \\ c(\text{H}_2\text{SO}_4) = ? \end{array}$$

Полная нейтрализация серной кислоты происходит по уравнению



Из каждой молекулы кислоты в реакцию вступают два катиона водорода, поэтому одному катиону водорода в этой кислотно-основной реакции эквивалентна условная частица  $1/2$  молекулы  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Следовательно, фактор эквивалентности  $f_{\text{экв}}(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1/2$ .

Для расчета молярной концентрации эквивалента в уравнение

$$c(1/2\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{m(\text{H}_2\text{SO}_4)}{f_{\text{экв}}(\text{H}_2\text{SO}_4)M(\text{H}_2\text{SO}_4)V} \cdot 1000,$$

полученное из уравнения (6.2), подставим числовые значения массы, фактора эквивалентности, молярной массы серной кислоты и произведем вычисления:

$$c(1/2\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{19,6}{1/2 \cdot 98,0 \cdot 500} \cdot 1000 = 0,8 \text{ моль/л.}$$

**Ответ.** 0,8 моль/л.

При решении задач, в которых речь идет о массовой доле растворенного вещества, наиболее сложный этап — это выбор одного из трех уравнений: (6.3), (6.4) или (6.5). Если в условии задачи приведена масса раствора, то нужно взять уравнение (6.3). Если в условии даны массы растворителя и одного или нескольких растворенных веществ, то следует воспользоваться уравнением (6.4). Однако чаще всего встречаются задачи, в которых фигурирует объем раствора. Это объясняется тем, что на практике растворы редко взвешивают, обычно проще измерить их объем. Примером раствора, для которого обычно указывают массу, является растительное масло. Для других растворов, с которыми приходится иметь дело в лаборатории или в быту (растворы кислот, оснований и солей в воде, аптечный спиртовой раствор иода, столовый уксус, вино, водка), указывают их объем.

**Пример 3.3.**

**Задача.** Вычислите массовую долю (в долях единицы) нитрата калия в растворе, если в 450 г его содержится 90 г  $\text{KNO}_3$ .

*Решение.*

$$\begin{aligned} m(p) &= 450 \text{ г} \\ m(\text{KNO}_3) &= 90 \text{ г} \end{aligned}$$

$$\omega(\text{KNO}_3) = ?$$

В условии задачи приведена масса раствора, поэтому для решения воспользуемся уравнением (6.3), заменив в нем В на  $\text{KNO}_3$ :

$$\omega(\text{KNO}_3) = \frac{m(\text{KNO}_3)}{m(p)}.$$

После подстановки числовых значений масс растворенного вещества и раствора получаем

$$\omega(\text{KNO}_3) = \frac{90}{450} = 0,2.$$

*Ответ.* 0,2.

### Пример 3.4.

*Задача.* Маринад для маринования огурцов готовят из 10 л воды, 500 г хлорида натрия, 300 г сахара и 60 г уксусной кислоты. Вычислите массовую долю (%) каждого ингредиента маринада.

*Решение.*

$$\begin{aligned} m(\text{NaCl}) &= 500 \text{ г} \\ m(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) &= 300 \text{ г} \\ m(\text{CH}_3\text{COOH}) &= 60 \text{ г} \\ V(\text{H}_2\text{O}) &= 10 \text{ л} \end{aligned}$$

$$\omega(\text{NaCl}) = ?$$

$$\omega(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) = ?$$

$$\omega(\text{CH}_3\text{COOH}) = ?$$

В условии задачи приведены массы растворенных веществ и объем растворителя — воды. Плотность воды равна 1 г/мл, поэтому масса 10 л (т.е. 10 000 мл воды) в соответствии с уравнением

$$m(\text{H}_2\text{O}) = \rho(\text{H}_2\text{O}) \cdot V(\text{H}_2\text{O})$$

составляет 10 000 г:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 1 \cdot 10\,000 = 10\,000 \text{ г}.$$

Итак, нам известны массы растворенных веществ и растворителя, следовательно, для расчета используем уравнение (6.4).

Раствор, о котором идет речь в условиях задачи, состоит из четырех компонентов: хлорида натрия  $\text{NaCl}$ , сахара  $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ , уксусной кислоты  $\text{CH}_3\text{COOH}$  и воды. Масса раствора складывается из масс этих веществ, поэтому в знаменателе дроби в каждом из расчетных уравнений находится сумма масс всех четырех веществ.

Массовая доля хлорида натрия в маринаде равна

$$\begin{aligned} \omega(\text{NaCl}) &= \frac{m(\text{NaCl})}{m(\text{NaCl}) + m(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) + m(\text{CH}_3\text{COOH}) + m(\text{H}_2\text{O})} 100\% = \\ &= \frac{500}{500 + 300 + 60 + 10\,000} 100\% = 4,6\%. \end{aligned}$$

Массовая доля сахара в маринаде составляет

$$\omega(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) = \frac{m(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11})}{m(\text{NaCl}) + m(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) + m(\text{CH}_3\text{COOH}) + m(\text{H}_2\text{O})} \times \\ \times 100\% = \frac{300}{500 + 300 + 60 + 10\,000} 100\% = 2,8\%.$$

Массовая доля уксусной кислоты равна

$$\omega(\text{CH}_3\text{COOH}) = \frac{m(\text{CH}_3\text{COOH})}{m(\text{NaCl}) + m(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) + m(\text{CH}_3\text{COOH}) + m(\text{H}_2\text{O})} \times \\ \times 100\% = \frac{60}{500 + 300 + 60 + 10\,000} 100\% = 0,6\%.$$

*Ответ.* Маринад содержит 4,6% хлорида натрия, 2,8% сахара и 0,6% уксусной кислоты.

### Пример 3.5.

*Задача.* Вычислите массовую долю (%) азотной кислоты в растворе, если в 1 л его содержится 629,5 г  $\text{HNO}_3$ , а плотность равна 1,30 г/мл.

*Решение.*

$$\begin{aligned} V &= 1 \text{ л} \\ m(\text{HNO}_3) &= 629,5 \text{ г} \\ \rho &= 1,30 \text{ г/мл} \end{aligned}$$

$$\omega(\text{HNO}_3) = ?$$

Если известны объем и плотность раствора, то массовую долю растворенного вещества рассчитываем по уравнению (6.5):

$$\omega(\text{HNO}_3) = \frac{m(\text{HNO}_3)}{\rho V} 100\%.$$

Подставляя данные в условиях задачи числовые значения величин, входящих в это уравнение, и производя вычисления, получаем

$$\omega = \frac{629,5}{1,30 \cdot 1000} 100\% = 48,42\%.$$

*Ответ.* 48,42%.

### Пример 3.6.

*Задача.* Вычислите титр раствора, в 2 л которого содержится 3 г хлорида цинка.

*Решение.*

$$\begin{aligned} m(\text{ZnCl}_2) &= 3 \text{ г} \\ V(\text{р}) &= 2 \text{ л} \end{aligned}$$

$$T(\text{ZnCl}_2) = ?$$

Титр раствора вычисляем, используя уравнение (6.7):

$$T(\text{ZnCl}_2) = \frac{m(\text{ZnCl}_2)}{V(\text{р})}.$$

Подставляя числовые значения массы хлорида цинка, объема раствора и производя расчет, получаем

$$T(\text{ZnCl}_2) = \frac{3}{2000} = 0,0015 \text{ г/мл.}$$

Ответ. 0,0015 г/мл.

### Задачи на вычисление масс компонентов, необходимых для приготовления растворов заданного состава

Приготовление растворов — очень распространенная операция не только в химических лабораториях, но и в практической деятельности работников сельского хозяйства и в быту. Проанализировав условия задачи и установив, о каком способе выражения состава раствора идет речь в этой задаче, следует выбрать из уравнений (6.1)–(6.7), приведенных в учебнике, нужное уравнение, записать и решить его относительно массы растворенного вещества.

#### Пример 3.7.

**Задача.** Какую массу (г) гидроксида натрия надо взять для приготовления 2 л 0,1 М раствора?

**Решение.**

$V = 2 \text{ л}$ $c(\text{NaOH}) = 0,1 \text{ моль/л}$ $m(\text{NaOH}) = ?$	В задаче речь идет о молярной концентрации раствора. (Буква М — условное обозначение единицы измерения концентрации моль/л. Читать запись «0,1 М раствор» нужно так: «децимолярный раствор».)
--	---

Решая уравнение (6.1) для расчета молярной концентрации:

$$c(\text{NaOH}) = \frac{m(\text{NaOH})}{M(\text{NaOH})V} \cdot 1000$$

относительно массы растворенного вещества, получаем

$$m(\text{NaOH}) = \frac{c(\text{NaOH})M(\text{NaOH})V}{1000} = \frac{0,1 \cdot 40,0 \cdot 2000}{1000} = 8 \text{ г.}$$

Ответ. 8 г.

#### Пример 3.8.

**Задача.** Для засола крупных огурцов рекомендуют 8%-й рассол. Вычислите, какие массы (г) хлорида натрия и воды нужно взять для приготовления 10 л 8%-го рассола с плотностью 1,056 г/мл.

**Решение.**

$V = 10 \text{ л}$ $\omega(\text{NaCl}) = 8\%$ $\rho = 1,056 \text{ г/мл}$ $m(\text{NaCl}) = ?$ $m(\text{H}_2\text{O}) = ?$	Для расчета массы хлорида натрия воспользуемся уравнением (6.5), так как в условии задачи приведены объем и плотность раствора:  $\omega(\text{NaCl}) = \frac{m(\text{NaCl})}{V\rho} 100\%.$
---	--

Решая его относительно массы хлорида натрия, получаем

$$m(\text{NaCl}) = \frac{\omega(\text{NaCl})V\rho}{100}.$$

После подстановки числовых значений и расчета находим

$$m(\text{NaCl}) \frac{8 \cdot 10\,000 \cdot 1,056}{100} = 844,8 \text{ г.}$$

Учитывая, что рассол готовят только из двух компонентов — хлорида натрия и воды, находим массовую долю воды:

$$\omega(\text{H}_2\text{O}) = 100 - \omega(\text{NaCl}) = 100 - 8 = 92\%.$$

Для расчета массы воды пользуемся уравнением, аналогичным тому, которое применяли для определения массы хлорида натрия:

$$\omega(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{V\rho} 100\%.$$

Решая его относительно массы воды, находим:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = \frac{\omega(\text{H}_2\text{O})V\rho}{100} = \frac{92 \cdot 10\,000 \cdot 1,056}{100} = 9715,2 \text{ г.}$$

Ответ. 844,8 г хлорида натрия и 9715,2 г воды.

### Пример 3.9.

**Задача.** Какую массу (г) медного купороса нужно взять для приготовления 50 л 1%-го раствора сульфата меди, который используют для опрыскивания садов в период покоя растений? Плотность раствора принять равной 1 г/мл.

*Решение.*

$$\begin{aligned} V &= 50 \text{ л} \\ \omega(\text{CuSO}_4) &= 1\% \\ \rho &= 1 \text{ г/мл} \end{aligned}$$

$$m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = ?$$

Медный купорос — тривиальное название кристаллогидрата, состав которого выражается формулой  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ . Так как растворяемое вещество содержит кристаллизационную воду, расчет его массы, необходимой для приготовления раствора, имеет особенности, которые станут понятными в ходе решения этой задачи. Сначала вычисляем массу безводного сульфата меди, нужного для приготовления 50 л 1%-го раствора этой соли:

$$m(\text{CuSO}_4) = \frac{\omega(\text{CuSO}_4)V\rho}{100} = \frac{1 \cdot 50\,000 \cdot 1}{100} = 500 \text{ г.}$$

Находим количество (моль) сульфата меди в 500 г этой соли:

$$n(\text{CuSO}_4) = \frac{m(\text{CuSO}_4)}{M(\text{CuSO}_4)} = \frac{500}{159,6} = 3,1 \text{ моль.}$$

Так как в 1 моль медного купороса  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  содержится 1 моль безводного сульфата меди  $\text{CuSO}_4$ , то для получения 3,1 моль сульфата меди нужно взять 3,1 моль медного купороса. Вычисляем массу 3,1 моль медного купороса:

$$m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = M(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) \cdot n(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 249,7 \cdot 3,1 = 774,1 \text{ г.}$$

Ответ. 774,1 г.

### Задачи на расчет массы растворенного вещества, содержащегося в растворе

Задачи этого типа решаются точно так же, как и задачи на расчет масс компонентов, необходимых для приготовления растворов.

#### Пример 3.10.

**Задача.** Средняя соленость океанической воды равна примерно 35‰. Вычислите массу солей (г), содержащихся в 1 кг такой воды.

**Решение.**

$$\begin{aligned} \omega(\text{солей}) &= 35\text{‰} \\ m(p) &= 1000 \text{ г} \end{aligned}$$

$$m(\text{солей}) = ?$$

Записываем уравнение для расчета массовой доли, выраженной в промилле (промилле — тысячная доля):

$$\omega(\text{солей}) = \frac{m(\text{солей})}{m(p)} 1000.$$

Решаем это уравнение относительно массы солей:

$$m(\text{солей}) = \frac{\omega(\text{солей})m(p)}{1000}.$$

Подставляем числовые значения, производим расчеты и получаем

$$m(\text{солей}) = \frac{35 \cdot 1000}{1000} = 35 \text{ г.}$$

Ответ. В 1 кг океанической воды содержится 35 г солей.

#### Пример 3.11.

**Задача.** Какая масса (г) гидроксида кальция содержится в 100 мл 0,04 н. раствора этого основания, если он вступает в реакцию полной нейтрализации?

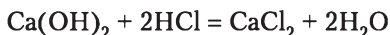
**Решение.**

$$\begin{aligned} V &= 100 \text{ мл} \\ c[1/2\text{Ca}(\text{OH})_2] &= 0,04 \text{ моль/л} \end{aligned}$$

$$m[\text{Ca}(\text{OH})_2] = ?$$

В задаче речь идет о молярной концентрации эквивалента. Буква н с точкой (н.) — условное обозначение единицы измерения молярной концентрации эквивалента моль/л.

Полная нейтрализация гидроксида кальция достигается, например, при его взаимодействии с избытком хлороводородной кислоты:



В этой реакции оба гидроксид-иона  $\text{Ca(OH)}_2$  взаимодействуют с катионами водорода. Следовательно, фактор эквивалентности равен  $f_{\text{экв}}[\text{Ca(OH)}_2] = 1/2$ .

Из расчетного уравнения для молярной концентрации эквивалента

$$c[1/2\text{Ca(OH)}_2] = \frac{m[\text{Ca(OH)}_2]}{f_{\text{экв}}[\text{Ca(OH)}_2]M[\text{Ca(OH)}_2]V} \cdot 1000$$

выражаем массу гидроксида кальция:

$$m[\text{Ca(OH)}_2] = \frac{c[1/2\text{Ca(OH)}_2]f_{\text{экв}}[\text{Ca(OH)}_2]M[\text{Ca(OH)}_2]V}{1000}.$$

Подставляя числовые значения и производя расчеты, получаем

$$m[\text{Ca(OH)}_2] = \frac{0,04 \cdot 0,5 \cdot 74,08 \cdot 100}{1000} = 0,15 \text{ г.}$$

Ответ. 0,15 г.

### Задачи на переход от одного способа выражения состава раствора к другому

Потребность в таких расчетах часто возникает при сравнении экспериментальных данных, полученных авторами, которые пользовались разными способами выражения состава растворов. Для успешного решения задач этого типа нужно помнить, что *при переходе от одного способа выражения состава раствора к другому масса растворенного вещества не изменяется*.

Алгоритм решения таких задач следующий:

- 1) записываем уравнения для обоих способов выражения состава растворов, о которых идет речь в условиях задачи;
- 2) решаем оба уравнения относительно массы растворенного вещества  $m(\text{В})$ ;
- 3) приравниваем правые части уравнений;
- 4) решаем полученное уравнение относительно искомой величины;
- 5) подставляем числовые значения и производим вычисления.



**Пример 3.12.**

**Задача.** Вычислите молярную концентрацию 16%-го раствора хлорной кислоты плотностью 1,1 г/мл.

**Решение.**

$$\begin{aligned}\omega(\text{HClO}_4) &= 16\% \\ \rho &= 1,1 \text{ г/мл} \\ c(\text{HClO}_4) &= ?\end{aligned}$$

В условиях задачи речь идет о молярной концентрации и массовой доле. Для обоих способов выражения состава раствора записываем расчетные уравнения:

$$c(\text{HClO}_4) = \frac{m(\text{HClO}_4)}{M(\text{HClO}_4)V} 1000;$$

$$\omega(\text{HClO}_4) = \frac{m(\text{HClO}_4)}{V\rho} 100\%.$$

Решаем эти уравнения относительно массы растворенного вещества:

$$m(\text{HClO}_4) = \frac{c(\text{HClO}_4)M(\text{HClO}_4)V}{1000};$$

$$m(\text{HClO}_4) = \frac{\omega(\text{HClO}_4)V\rho}{100}.$$

Так как масса растворенного вещества при переходе от одного способа выражения состава раствора к другому не изменяется, то левые части этих уравнений тождественно равны. Значит, равны и правые части уравнений:

$$\frac{c(\text{HClO}_4)M(\text{HClO}_4)V}{1000} = \frac{\omega(\text{HClO}_4)V\rho}{100}.$$

Сокращаем обе дроби на  $V$  и на 100 и решаем уравнение относительно искомой молярной концентрации:

$$c(\text{HClO}_4) = \frac{10\omega(\text{HClO}_4)\rho}{M(\text{HClO}_4)};$$

подставляя числовые значения и производя вычисления, получаем

$$c(\text{HClO}_4) = \frac{10 \cdot 16 \cdot 1,1}{100,5} = 1,75 \text{ моль/л.}$$

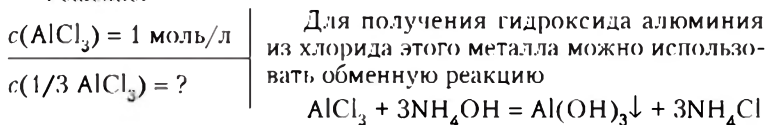
**Ответ.** 1,75 моль/л.

Обратите внимание на то, что при переходе от молярных концентраций и титра, т.е. способов выражения состава раствора, характеризующих содержание вещества в единице объема, к массовой доле, которая характеризует содержание вещества в единице массы раствора, обязательно нужно знать плотность раствора.

**Пример 3.13.**

*Задача.* Вычислите молярную концентрацию эквивалента хлорида алюминия в 1 М растворе этой соли. Раствор используют для получения гидроксида алюминия.

*Решение.*



В результате этой реакции все три хлорид-иона соли замещаются на гидроксид-ионы. В соответствии с уравнением



число вступающих в реакцию гидроксид-ионов равно числу катионов водорода. Таким образом, три замещенных хлорид-иона эквивалентны трем катионам водорода. Следовательно, эквивалент хлорида алюминия — условная частица  $1/3$  молекулы  $\text{AlCl}_3$ , а фактор эквивалентности хлорида алюминия в данной реакции равен  $1/3$ . Можно рассуждать и по-другому: катион алюминия реагирует с тремя гидроксид-ионами, каждый из которых эквивалентен катиону водорода, следовательно, катион алюминия в данной реакции эквивалентен трем катионам водорода и эквивалент хлорида алюминия — условная частица  $1/3$  молекулы  $\text{AlCl}_3$ , а фактор эквивалентности этой соли равен  $1/3$ . В рассматриваемом примере фактор эквивалентности рассчитываем исходя из числа вступивших в реакцию катионов:

$$f_{\text{экв}}(\text{AlCl}_3) = \frac{1}{n(\text{Al}^{3+}) \cdot z(\text{Al}^{3+})},$$

где  $n(\text{Al}^{3+})$  — число катионов алюминия;  $z(\text{Al}^{3+})$  — заряд катиона алюминия.

В состав формульной единицы  $\text{AlCl}_3$  входит один катион алюминия, заряд его равен  $+3$ , поэтому

$$f_{\text{экв}}(\text{AlCl}_3) = \frac{1}{1 \cdot 3} = \frac{1}{3}.$$

Точно такой же результат получаем, рассчитывая фактор эквивалентности с использованием числа замещенных гидроксид-ионами анионов:

$$f_{\text{экв}}(\text{AlCl}_3) = \frac{1}{n(\text{Cl}^-) |z(\text{Cl}^-)|},$$

где  $n(\text{Cl}^-)$  — число хлорид-ионов,  $z(\text{Cl}^-)$  — заряд хлорид-иона, взятый по модулю для того, чтобы фактор эквивалентности имел положительное значение.

В состав формульной единицы  $\text{AlCl}_3$  входят три хлорид-иона, заряд каждого из этих анионов равен  $-1$ ,  $|-1| = 1$ , поэтому

$$f_{\text{экв}}(\text{AlCl}_3) = \frac{1}{3 \cdot 1} = \frac{1}{3}.$$

В условии задачи речь идет о молярной концентрации хлорида алюминия и молярной концентрации эквивалента этой соли. Для обоих способов выражения состава раствора записываем расчетные уравнения:

$$c(\text{AlCl}_3) = \frac{m(\text{AlCl}_3)}{M(\text{AlCl}_3)V} 1000;$$

$$c(1/3\text{AlCl}_3) = \frac{m(\text{AlCl}_3)}{f_{\text{экв}}(\text{AlCl}_3)M(\text{AlCl}_3)V} 1000.$$

Решаем оба уравнения относительно массы хлорида алюминия:

$$m(\text{AlCl}_3) = \frac{c(\text{AlCl}_3)M(\text{AlCl}_3)V}{1000};$$

$$m(\text{AlCl}_3) = \frac{c(1/3\text{AlCl}_3)f_{\text{экв}}(\text{AlCl}_3)M(\text{AlCl}_3)V}{1000}.$$

Так как масса растворенного вещества при переходе от одного способа выражения состава раствора к другому не изменяется, левые части обоих уравнений тождественно равны, следовательно, равны и их правые части:

$$\frac{c(\text{AlCl}_3)M(\text{AlCl}_3)V}{1000} = \frac{c(1/3\text{AlCl}_3)f_{\text{экв}}(\text{AlCl}_3)M(\text{AlCl}_3)V}{1000}.$$

Сокращая левую и правую части уравнения на  $V$ ,  $M(\text{AlCl}_3)$  и на 1000 и решая уравнение относительно искомой молярной концентрации эквивалента хлорида алюминия, получаем

$$c(1/3\text{AlCl}_3) = \frac{c(\text{AlCl}_3)}{f_{\text{экв}}(\text{AlCl}_3)} = \frac{1}{1/3} = 3 \text{ моль/л.}$$

*Ответ.* 3 моль/л.

### Задачи на разбавление и концентрирование растворов

Для приготовления растворов с заданным составом из твердых негигроскопичных веществ достаточно точно взвесить рассчитанное количество вещества (химики называют эту операцию взятием навески) и растворить его в нужном объеме воды. Сложнее обстоит дело в том случае, если растворяемое вещество неустойчиво на воздухе или представляет собой газ. Например, гидроксид натрия активно реагирует с содержащимися в воздухе парами воды и углекислым газом, а хлороводород при обычных условиях

находится в газообразном состоянии. Точную навеску таких веществ взять невозможно. Поэтому их растворы с заданным составом готовят путем разбавления. Для этого сначала готовят концентрированный раствор, определяют в нем содержание растворенного вещества, а затем добавляют рассчитанный объем воды. В химическом анализе часто возникает необходимость в концентрировании растворов. Простейший способ концентрирования — выпаривание, т.е. длительное кипячение, в результате которого часть содержащейся в растворе воды превращается в пар, объем раствора уменьшается, а концентрация или массовая доля растворенного вещества возрастает. Решая задачи этого типа нужно помнить, что *при разбавлении и концентрировании растворов масса растворенного вещества не изменяется*.

### Пример 3.14.

**Задача.** Какой объем (мл) 40%-го раствора хлороводородной кислоты плотностью 1,198 г/мл нужно взять для приготовления 5 л 10%-го раствора плотностью 1,047 г/мл?

**Решение.**

$$\begin{aligned}\omega_1(\text{HCl}) &= 40\% \\ \rho_1 &= 1,198 \text{ г/мл} \\ V_2 &= 5 \text{ л} \\ \omega_2(\text{HCl}) &= 10\% \\ \rho_2 &= 1,047 \text{ г/мл} \\ V_1 &= ?\end{aligned}$$

В условии задачи имеются данные, относящиеся к двум растворам. Для предотвращения ошибок все данные, относящиеся к раствору с большей концентрацией, обозначены индексом «1», а данные, относящиеся ко второму раствору, приведены с индексом «2». Содержание хлороводорода в обоих растворах охарактеризовано массовыми долями этого вещества, поэтому дважды напомним уравнения для расчета массовой доли:

$$\omega_1(\text{HCl}) = \frac{m_1(\text{HCl})}{V_1 \rho_1} 100\%; \quad \omega_2(\text{HCl}) = \frac{m_2(\text{HCl})}{V_2 \rho_2} 100\%.$$

Решаем эти уравнения относительно массы растворенного вещества:

$$m_1(\text{HCl}) = \frac{\omega_1(\text{HCl}) V_1 \rho_1}{100}; \quad m_2(\text{HCl}) = \frac{\omega_2(\text{HCl}) V_2 \rho_2}{100}.$$

Так как при разбавлении раствора масса растворенного вещества не изменяется, левые части обоих уравнений равны:

$$m_1(\text{HCl}) = m_2(\text{HCl}),$$

следовательно, равны и правые их части:

$$\frac{\omega_1(\text{HCl}) V_1 \rho_1}{100} = \frac{\omega_2(\text{HCl}) V_2 \rho_2}{100}.$$

Решая новое уравнение относительно искомого объема раствора с большей концентрацией и сокращая числитель и знаменатель на 100, находим:

$$V_1 = \frac{\omega_2(\text{HCl})V_2\rho_2}{\omega_1(\text{HCl})\rho_1}.$$

После подстановки числовых значений получаем

$$V_1 = \frac{10 \cdot 5000 \cdot 1,047}{40 \cdot 1,198} = 1092,5 \text{ мл.}$$

*Ответ.* Надо взять 1092,5 мл раствора.

### Пример 3.15.

**Задача.** Какой объем воды (мл) нужно прилить к 1 л 6 н. раствора хлороводородной кислоты, чтобы получить 10%-й раствор плотностью 1,047 г/мл?

*Решение.*

$$\begin{array}{l} V_1 = 1 \text{ л} \\ c(\text{HCl}) = 6 \text{ моль/л} \\ \omega(\text{HCl}) = 10\% \\ \rho = 1,047 \text{ г/мл} \\ \hline V(\text{H}_2\text{O}) = ? \end{array}$$

По условиям задачи из раствора с большим содержанием хлороводородной кислоты, которое выражено молярной концентрацией эквивалента, нужно приготовить раствор с меньшим содержанием этого вещества, которое охарактеризовано массовой долей.

Для любой одноосновной кислоты, в том числе и для хлороводородной, фактор эквивалентности равен 1, а молярная концентрация эквивалента равна молярной концентрации кислоты.

Для обоих способов выражения состава раствора записываем расчетные уравнения:

$$c(\text{HCl}) = \frac{m(\text{HCl})}{M(\text{HCl})V_1} \cdot 1000; \quad \omega(\text{HCl}) = \frac{m(\text{HCl})}{V_2\rho} \cdot 100.$$

Решаем оба уравнения относительно массы растворенного вещества:

$$m(\text{HCl}) = \frac{c(\text{HCl})M(\text{HCl})V_1}{1000}; \quad m(\text{HCl}) = \frac{\omega(\text{HCl})V_2\rho}{100}.$$

Так как при разбавлении раствора масса растворенного вещества не изменяется, то левые части этих уравнений равны и поэтому можно приравнять их правые части:

$$\frac{c(\text{HCl})M(\text{HCl})V_1}{1000} = \frac{\omega(\text{HCl})V_2\rho}{100}.$$

После сокращения знаменателей обеих дробей на 100 решим новое уравнение относительно объема второго раствора:

$$V_2 = \frac{c(\text{HCl})M(\text{HCl})V_1}{10\omega(\text{HCl})\rho}.$$

Подставляем числовые значения и производим расчеты:

$$V_2 = \frac{6 \cdot 36,5 \cdot 1000}{10 \cdot 10 \cdot 1,047} = 2092 \text{ мл.}$$

Объем воды, которую надо прибавить, равен разности объемов разбавленного и концентрированного растворов:

$$V(\text{H}_2\text{O}) = V_2 - V_1 = 2092 - 1000 = 1092 \text{ мл.}$$

Ответ: 1092 мл.

### Пример 3.16.

**Задача.** В результате выпаривания из 500 г 1%-го раствора хлорида натрия получен 26%-й раствор. Какой объем воды (мл) выпарен?

*Решение.*

$$\begin{aligned} m_1(\text{p}) &= 500 \text{ г} \\ \omega_1(\text{NaCl}) &= 1\% \\ \omega_2(\text{NaCl}) &= 26\% \end{aligned}$$

$$V(\text{H}_2\text{O}) = ?$$

Содержание хлорида натрия в обоих растворах выражено массовой долей этой соли. Записываем математические выражения массовой доли хлорида натрия для обоих растворов:

$$\omega_1(\text{NaCl}) = \frac{m_1(\text{NaCl})}{m_1(\text{p})} 100\%;$$

$$\omega_2(\text{NaCl}) = \frac{m_2(\text{NaCl})}{m_2(\text{p})} 100\%.$$

Решим оба уравнения относительно массы хлорида натрия:

$$m_1(\text{NaCl}) = \frac{\omega_1(\text{NaCl})m_1(\text{p})}{100}; \quad m_2(\text{NaCl}) = \frac{\omega_2(\text{NaCl})m_2(\text{p})}{100}.$$

Так как при выпаривании раствора масса растворенного вещества не изменяется, левые части этих уравнений равны и поэтому можно приравнять их правые части:

$$\frac{\omega_1(\text{NaCl})m_1(\text{p})}{100} = \frac{\omega_2(\text{NaCl})m_2(\text{p})}{100}.$$

Сокращаем обе дроби на 100 и решаем новое уравнение относительно массы 26%-го раствора:

$$m_2(\text{p}) = \frac{\omega_1(\text{NaCl})m_1(\text{p})}{\omega_2(\text{NaCl})}.$$

Подставляем числовые значения и производим расчеты:

$$m_2(\text{p}) = \frac{1 \cdot 500}{26} = 19,2 \text{ г.}$$

Масса испарившейся воды равна разности масс исходного и полученного в результате выпаривания растворов:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = m_1(p) - m_2(p) = 500 - 19,2 = 480,8 \text{ г.}$$

Плотность воды равна 1 г/мл, поэтому объем воды численно равен ее массе. Масса выпаренной воды равна 480,8 г, ее объем составляет 480,8 мл.

*Ответ.* 480,8 мл.

### 3.3. Индивидуальные задания

#### Вариант 1

1. В прил. 2 приведены составы растворов, используемых для гидропонного выращивания растений в условиях защищенного грунта. Пользуясь этими данными, вычислите молярную концентрацию каждой из солей азотной кислоты, входящих в состав питательного раствора Кнопа. Плотность раствора принять равной 1 г/мл.

2. В 240 мл воды растворили 10 г хлорида калия. Вычислите массовую долю этой соли в приготовленном растворе.

3. Какова молярная концентрация 2 н. раствора фосфорной кислоты, если продуктом реакции нейтрализации является гидрофосфат натрия?

4. Какую массу (г) 25%-го раствора гидроксида калия нужно прилить к 400 мл воды, чтобы приготовить 15%-й раствор?

5. Какой объем (мл) 2 н. раствора серной кислоты нужно взять для приготовления 3 л 0,06 н. раствора?

#### Вариант 2

1. В 100 мл виноградного сусла, полученного после дробления винограда, содержится 0,5 мг кислорода. Вычислите молярную концентрацию эквивалента кислорода в таком сусле, если он восстанавливается до степени окисления –2.

2. Для опрыскивания садов ранней весной в период покоя растений используют 0,5%-й раствор сульфата меди. Какую массу (г) медного купороса нужно взять для приготовления 50 л такого раствора? Плотность раствора принять равной 1 г/мл.

3. Вычислите молярную концентрацию 20%-го раствора хлорида цинка плотностью 1,186 г/мл.

4. Какой станет массовая доля азотной кислоты в растворе, если к 30 мл 20%-го раствора плотностью 1,10 г/мл добавить 70 мл воды?

5. Какой объем (мл) воды нужно добавить к 60 мл 0,8 М сульфата натрия, чтобы приготовить раствор, титр которого равен 0,025 г/мл?

### Вариант 3

1. Какую массу (г) нитрата серебра нужно взять для приготовления 125 г 6%-го раствора?

2. В прил. 2 приведен состав питательного раствора Гельригеля для гидропонного выращивания растений в защищенном грунте. Вычислите молярную концентрацию (ммоль/л) сульфата магния в этом растворе. Плотность раствора принять равной 1 г/мл.

3. Какова молярная концентрация 62%-го раствора серной кислоты плотностью 1,520 г/мл?

4. Какой объем 10%-го раствора карбоната натрия плотностью 1,105 г/мл необходим, чтобы приготовить 1 л 2%-го раствора плотностью 1,020 г/мл?

5. Заключительной стадией производства очищенной фосфорной кислоты, используемой в производстве кормовых фосфатов, является концентрирование путем выпаривания воды. Какой объем (л) воды нужно выпарить из 50 л 5,14 М раствора фосфорной кислоты плотностью 1,26 г/мл, чтобы получить товарный продукт, содержащий 74,5% кислоты, если его плотность равна 1,57 г/мл?

### Вариант 4

1. Какую массу (г) гидроксида калия нужно взять для приготовления 200 мл 0,5 М раствора?

2. Какова молярная концентрация эквивалента сульфата кобальта в растворе, если в 500 мл его содержится 15,5 г этой соли? Раствор используют для получения гидроксида кобальта(II).

3. Вычислите массовую долю хлорида цинка в 1,75 М растворе плотностью 1,19 г/мл.

4. В пищевой промышленности применяют гидрофосфат натрия (техническое название динатрийфосфат). В производстве этой соли используют 45%-й раствор ортофосфорной кислоты плотностью 1,29 г/мл. Какой объем (л) концентрированного 76%-го раствора этой кислоты плотностью 1,59 г/мл нужно взять для приготовления 10 л 45%-го раствора?

5. Какой станет массовая доля (%) карбоната натрия, если к 100 г его 30%-го раствора прилить 50 г воды?



**Вариант 5**

1. Какова массовая доля хлорида натрия в растворе, если в 300 г воды растворено 45 г этой соли?

2. Какая масса (г) хлорида бария содержится в 25 мл 0,5 н. раствора?

3. Вычислите молярную концентрацию эквивалента сульфата алюминия в 2 М растворе этой соли при условии, что он используется для получения гидроксида алюминия.

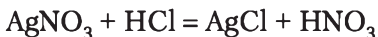
4. К 345 мл 17,1%-го раствора азотной кислоты плотностью 1,1 г/мл прилили 500 мл воды. Определите молярную концентрацию полученного раствора плотностью 1,039 г/мл.

5. Какой объем 12%-го раствора хлорида натрия с плотностью 1,085 г/мл необходим для приготовления 300 мл 0,5 н. раствора?

**Вариант 6**

1. В прил. 2 приведен состав питательного раствора Прянишникова для гидропонного выращивания растений в защищенном грунте. Вычислите молярную концентрацию (ммоль/л) гидрофосфата кальция в этом растворе. Плотность раствора принять равной 1 г/мл.

2. Какая масса (г) нитрата серебра содержится в 100 мл 0,1 н. раствора этой соли? Раствор используют для проведения реакции



3. Какова молярная концентрация эквивалента сульфата железа(II) в 20%-м растворе этой соли, плотность которого 1,21 г/мл? Раствор используют для получения гидроксида железа(II).

4. Какой объем (мл) воды следует испарить, чтобы из 250 мл 0,5 н. раствора хлорида натрия получить 10,3%-й раствор с плотностью 1,075 г/мл?

5. Какой объем (мл) 15,2%-го раствора карбоната натрия плотностью 1,16 г/мл нужно взять для приготовления 50 мл 0,2 М раствора?

**Вариант 7**

1. Вычислите массовую долю хлорида натрия в растворе, полученном при растворении 50 г этой соли в 1,5 л воды.

2. В каком объеме 0,5 н. раствора содержится 4,2 г ортомышьяковистой кислоты? Кислота вступает в реакцию полной нейтрализации.

3. Какова молярная концентрация 20%-го раствора гидроксида натрия плотностью 1,22 г/мл?

4. Какой объем (мл) 10,22%-го хлорида натрия плотностью 1,105 г/мл нужно взять для приготовления 100 мл 0,2 М раствора?

5. До какого объема следует упарить 240 мл 3%-го раствора хлорида калия плотностью 1,05 г/мл, чтобы получить 2 М раствор?

### Вариант 8

1. Для протравливания клубней картофеля перед посадкой используют 0,02%-й раствор сульфата меди. Какую массу (г) медного купороса нужно взять для приготовления 100 л такого раствора? Плотность раствора принять равной 1 г/мл.

2. Вычислите массовую долю хлорида магния в 1,5 М растворе плотностью 1,12 г/мл.

3. Определите молярную концентрацию эквивалента нитрата серебра в растворе, титр которого равен 0,0017.

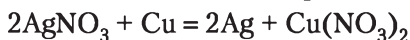
4. Какой объем воды следует добавить к 25 мл 1 М раствора гидрокарбоната натрия, чтобы получить 0,5 н. раствор?

5. Какой объем (мл) 30%-го раствора гидроксида калия плотностью 1,29 г/мл нужно взять для приготовления 3 л 0,5 М раствора?

### Вариант 9

1. В прил. 2 приведены составы растворов, используемых для гидропонного выращивания растений в условиях защищенного грунта. Пользуясь этими данными, вычислите молярную концентрацию каждой из солей азотной кислоты, входящих в состав питательного раствора Хоглянда и Арнона. Плотность раствора принять равной 1 г/мл.

2. Какая масса (г) нитрата серебра содержится в 100 мл 0,1 н. раствора этой соли? Раствор используют для проведения окислительно-восстановительной реакции



3. Для производства кормового фосфата, техническое название которого динарийфосфат, используют 45%-й раствор ортофосфорной кислоты плотностью 1,29 г/мл. Вычислите молярную концентрацию эквивалента фосфорной кислоты в этом растворе, учитывая, что химическое название динарийфосфата — гидрофосфат натрия.

4. Какой объем (мл) 5%-го раствора сульфата железа(II) плотностью 1,1 г/мл можно приготовить из 15 мл 5 М раствора?

5. До какого объема нужно разбавить 0,5 л 30,55%-го раствора хлороводородной кислоты плотностью 1,155 г/мл, чтобы приготовить 12,18%-й раствор плотностью 1,06 г/мл?

### Вариант 10

1. Бордоскую жидкость, содержащую 5% гидроксида-сульфата меди, используют для проведения ранней весенней опрыскивания плодовых растений в начале распускания почек. Какую массу (г) медного купороса нужно взять для приготовления 100 л 5%-й бордоской жидкости плотностью 1,05 г/мл, если при получении ее действующего вещества протекает реакция



2. Вычислите молярную концентрацию эквивалента серной кислоты в 17%-м растворе с плотностью 1,12 г/мл. Кислота вступает в реакцию полной нейтрализации.

3. Определите молярную концентрацию 6 н. раствора фосфорной кислоты. Кислота вступает в реакцию полной нейтрализации.

4. Какую массу (г) 50%-го раствора гидроксида натрия нужно прилить к 250 мл воды, чтобы приготовить 12%-й раствор?

5. Какой объем 15,2%-го раствора карбоната натрия плотностью 1,16 г/мл необходим для приготовления 250 мл 0,2 н. раствора этой соли? Полученный раствор будет взаимодействовать с избытком хлороводородной кислоты.

### Вариант 11

1. В каком объеме 0,2 М раствора содержится 5,1 г нитрата натрия?

2. Какая масса (г) сульфата меди(II) содержится в 2 л 0,5 н. раствора, предназначенного для получения гидроксида меди(II)?

3. Определите массовую долю (%) серной кислоты в 6 н. растворе плотностью 1,18 г/мл. Кислота вступает в реакцию полной нейтрализации.

4. До какого объема следует разбавить 1,5 л 20%-го раствора хлорида натрия плотностью 1,5 г/мл, чтобы приготовить 0,2 М раствор?

5. Какой станет массовая доля раствора (%), если к 200 г 50%-го раствора прилить 300 г воды?

### Вариант 12

1. В прил. 2 приведены составы растворов, используемых для гидропонного выращивания растений в условиях защищенного грунта. Пользуясь этими данными, вычислите молярную концентрацию каждой из солей азотной кислоты, входящих в состав питательного раствора Герике. Плотность раствора принять равной 1 г/мл.

2. Вода соляных озер (рапа) представляет собой концентрированный раствор солей. Например, рапа озера Баскунчак содержит 14,2% хлорида натрия и 7,3% хлорида магния. Вычислите молярные концентрации обеих солей в рапе плотностью 1,205 г/мл.

3. Определите молярную концентрацию эквивалента фосфорной кислоты, если в 300 мл раствора содержится 2,94 г, а продуктом реакции нейтрализации является гидрофосфат натрия.

4. Какой объем (мл) 96%-го раствора серной кислоты с плотностью 1,84 г/мл нужно взять для приготовления 1 л раствора с титром 0,025 г/мл?

5. До какого объема следует упарить 150 мл 2%-го раствора хлорида натрия плотностью 1,03 г/мл, чтобы получить 2 М раствор?

### Вариант 13

1. Какова молярная концентрация раствора, если в 1 мл его содержится 20 мг сульфата меди(II)?

2. Какая масса (г) хлорида калия нужна для приготовления 250 мл 0,3 н. раствора?

3. Вычислите молярную концентрацию эквивалента аммиака в 24%-м растворе плотностью 0,910 г/мл.

4. Определите массовую долю (%) хлорида натрия в растворе, если к 40 г 15%-го раствора прилили 10 г воды.

5. Какой объем 15%-го гидроксида калия плотностью 1,13 г/мл нужен для приготовления 1,5 л 0,25 н. раствора?

### Вариант 14

1. Массовая доля жира в молоке равна 3,8%. Какую массу (г) сливочного масла, содержащего 82,5% жира, можно получить из 1 л молока плотностью 1,031 г/мл, если добиться полного извлечения жира из молока?

2. Какова молярная концентрация эквивалента раствора нитрата бария, в 1,5 л которого содержится 195,75 г соли?

3. Определите молярную концентрацию 18%-го раствора фосфорной кислоты плотностью 1,1 г/мл.

4. Какой объем (мл) 60%-го раствора серной кислоты плотностью 1,5 г/мл нужно взять для приготовления 5 л 12%-го раствора плотностью 1,08 г/мл?

5. Какой объем воды нужно прилить к 50 мл 10,3%-го раствора хлорида натрия плотностью 1,075 г/мл, чтобы приготовить 0,5 н. раствор?

### Вариант 15

1. В прил. 2 приведены составы растворов, используемых для гидропонного выращивания растений в условиях защищенного грунта. Пользуясь этими данными, вычислите молярную концентрацию каждой из солей серной кислоты, входящих в состав питательного раствора Кнопа. Плотность раствора принять равной 1 г/мл.

2. Определите молярную концентрацию карбоната натрия в 13%-м растворе плотностью 1,135 г/мл.

3. Рассчитайте массовую долю (%) хлороводородной кислоты в 6 н. растворе плотностью 1,1 г/мл.

4. Какой объем воды следует прилить к 25 мл 1 н. раствора гидрокарбоната натрия, чтобы приготовить 0,5 М раствор?

5. В каких массовых отношениях нужно смешать 62%-й раствор серной кислоты и воду, чтобы приготовить 12%-й раствор?

### Вариант 16

1. Какая масса (г) хлорида железа(III) содержится в 20 мл 40%-го раствора плотностью 1,133 г/мл?

2. Определите молярную концентрацию эквивалента хлорида цинка в растворе, в 100 мл которого содержится 1,11 г этой соли. Раствор используют для получения гидроксида цинка.

3. Какова молярная концентрация 20%-го раствора хлороводородной кислоты плотностью 1,1 г/мл?

4. Какой объем воды нужно прилить к 50 мл 2 М раствора хлорида калия, чтобы приготовить 3%-й раствор плотностью 1,05 г/мл?

5. Какой объем (мл) 15%-го раствора гидроксида калия плотностью 1,13 г/мл нужно взять для приготовления 1,5 л 0,25 н. раствора?

**Вариант 17**

1. Какова молярная концентрация раствора, если в 200 мл его растворено 18,5 г  $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ?

2. Определите молярную концентрацию эквивалента хлорида меди(II) в 16%-м растворе хлорида меди(II) плотностью 1,18 г/мл. Раствор используют для получения гидроксида меди.

3. Вычислите (%) массовую долю 1,4 М раствора нитрата серебра плотностью 1,18 г/мл.

4. Какой объем воды необходимо добавить к 1,0 л 38%-го раствора хлороводородной кислоты плотностью 1,189 г/мл, чтобы приготовить 18%-й раствор плотностью 1,089 г/мл?

5. В каких объемных соотношениях нужно смешать 1 н. раствор уксусной кислоты и воду, чтобы приготовить 0,05 н. раствор?

**Вариант 18**

1. В прил. 2 приведены составы растворов, используемых для гидропонного выращивания растений в условиях защищенного грунта. Пользуясь этими данными, вычислите молярную концентрацию гидрофосфата кальция (в пересчете на безводную соль) в питательном растворе Прянишникова. Плотность раствора принять равной 1 г/мл. Как называется фосфорное удобрение, используемое для приготовления этого раствора?

2. Вычислите молярную концентрацию эквивалента в растворе хлорида натрия, в 1 мл которого содержится 0,028 г этой соли.

3. Определите молярную концентрацию 5%-го раствора азотной кислоты плотностью 1,1 г/мл.

4. Какой объем (мл) 12 н. раствора серной кислоты нужно взять для приготовления 500 мл 20%-го раствора плотностью 1,14 г/мл?

5. До какого объема нужно упарить 245 мл 0,1 М раствора серной кислоты, чтобы получить 20,9%-й раствор с плотностью 1,1488 г/мл?

**Вариант 19**

1. В каком объеме 5 М раствора содержится 50 г нитрата калия?

2. Рассчитайте титр 0,2 н. раствора карбоната натрия. Соль вступает в реакцию образования кислой соли.

3. Определите молярную концентрацию 17%-го раствора серной кислоты плотностью 1,12 г/мл.

4. Какой объем (мл) 17,7%-го раствора карбоната натрия плотностью 1,19 г/мл нужно взять для приготовления 50 мл 0,5 М раствора?

5. Какой объем воды нужно прилить к 100 мл 24%-го аммиака плотностью 0,91 г/мл, чтобы приготовить 5%-й раствор плотностью 0,97 г/мл?

### Вариант 20

1. Какая масса (г) гидроксида натрия нужна для приготовления 3 л 10%-го раствора с плотностью 1,115 г/мл?

2. В каком объеме 0,3 н. раствора содержится 3,915 г карбоната калия? Раствор взаимодействует с избытком хлороводородной кислоты.

3. Определите молярную концентрацию эквивалента гидроксида кальция в 0,18 М растворе. Основание вступает в реакцию полной нейтрализации.

4. Какой объем (мл) воды нужно прилить к 1000 мл 1,12 н. раствора серной кислоты, чтобы приготовить 1 н. раствор? Серная кислота вступает в реакцию полной нейтрализации.

5. В каких массовых соотношениях нужно смешать 50%-й раствор гидроксида натрия и воду, чтобы получить 30%-й раствор?

### Вариант 21

1. В прил. 2 приведены составы растворов, используемых для гидропонного выращивания растений в условиях защищенного грунта. Пользуясь этими данными, вычислите молярную концентрацию сульфата магния (в пересчете на безводную соль) в питательном растворе Хоглянда и Арнона. Плотность раствора принять равной 1 г/мл.

2. Какова молярная концентрация эквивалента карбоната натрия, если в 500 мл раствора содержится 0,075 г этой соли? Раствор взаимодействует с избытком хлороводородной кислоты.

3. Определите молярную концентрацию и молярную концентрацию эквивалента гидроксида калия в 20%-м растворе этого основания плотностью 1,17 г/мл.

4. Какой объем (мл) воды нужно прилить к 200 г 20%-го раствора хлороводородной кислоты плотностью 1,098 г/мл, чтобы приготовить 5%-й раствор плотностью 1,032 г/мл?

5. Какой объем 13 н. гидроксида аммония необходим, чтобы после разбавления водой приготовить 3 л 4 н. раствора?

### Вариант 22

1. Вычислите молярную концентрацию и молярную концентрацию эквивалента гидроксида натрия в растворе, 250 мл которого содержат 45 г этого вещества.

2. Рассчитайте титр 5%-го раствора фосфорной кислоты плотностью 1,027 г/мл.

3. Определите массовую долю нитрата никеля(II) (%) в 1 М растворе этой соли плотностью 1,14 г/мл.

4. Какой будет молярная концентрации раствора гидроксида натрия, если к 600 мл 52%-го раствора этого основания плотностью 1,56 г/мл прилить 400 мл воды?

5. Какой объем (мл) 30%-го раствора гидроксида калия плотностью 1,29 г/мл нужно взять для приготовления 3 л 0,5 М раствора?

### Вариант 23

1. В 100 мл воды растворили 22,4 л газообразного хлороводорода (н.у.). Вычислите массовую долю растворенного вещества в полученном растворе.

2. Какая масса (г) нитрата натрия нужна для приготовления 500 мл 2,5 н. раствора?

3. Рассчитайте молярную концентрацию эквивалента фосфористой кислоты в 2 М растворе, если она вступает в реакцию полной нейтрализации.

4. Какой объем 10%-го раствора гидроксида калия плотностью 1,1 г/мл необходим для приготовления 300 мл раствора с титром 0,02852 г/мл?

5. До какого объема нужно разбавить 20 мл 20%-го раствора хлорида меди(II) плотностью 1,2 г/мл, чтобы приготовить 0,5 М раствор?

### Вариант 24

1. В прил. 2 приведены составы растворов, используемых для гидропонного выращивания растений в условиях защищенного грунта. Пользуясь этими данными, вычислите молярную концентрацию сульфата кальция (в пересчете на безводную соль) в питательном растворе Прянишникова. Плотность раствора принять равной 1 г/мл.



2. Определите массовую долю хлорида магния в растворе плотностью 1,02 г/мл, если известно, что в 20 мл этого раствора содержится 3 г соли.

3. Вычислите молярную концентрацию и молярную концентрацию эквивалента азотной кислоты в 20%-м растворе плотностью 1,22 г/мл.

4. До какого объема нужно разбавить 10 мл 20,9%-го раствора серной кислоты плотностью 1,15 г/мл, чтобы приготовить 0,1 М раствор?

5. Какой объем (мл) 50,71%-го раствора азотной кислоты плотностью 1,32 г/мл нужно взять для приготовления 250 мл 0,5 н. раствора?

### Вариант 25

1. Для приготовления 100 л бордоской жидкости, обладающей фунгицидным действием, берут 1 кг негашеной извести и 1 кг медного купороса. Негашеную известь предварительно гасят небольшим количеством воды. Затем проводят реакцию



Вычислите массовую долю гидроксида-сульфата меди в полученной бордоской жидкости, если ее плотность принять равной 1 г/мл.

2. Определите массовую долю ортофосфорной кислоты в 1,9 н. растворе плотностью 1,031 г/мл, если она вступает в реакцию полной нейтрализации.

3. Какова молярная концентрация раствора, в 1 мл которого содержится 0,028 г иодида калия?

4. В каких объемных соотношениях нужно смешать 6 н. раствор азотной кислоты и воду, чтобы приготовить 2 н. раствор?

5. Какой объем воды нужно добавить к 1500 мл 13 н. раствора гидроксида аммония, чтобы приготовить 14%-й раствор с плотностью 0,946 г/мл?

### Вариант 26

1. Какова молярная концентрация раствора сульфата алюминия, в 0,5 л которого содержится 50 г этой соли?

2. Какая масса (г) никелевого купороса нужна для приготовления 2 л 0,5 н. раствора сульфата никеля? Раствор используют для получения гидроксида никеля.

3. Какова массовая доля хлорида магния в 1,5 М растворе плотностью 1,12 г/мл?

4. Какой объем (мл) воды нужно прилить к 10 мл 12 н. раствора хлороводородной кислоты, чтобы приготовить 0,1 н. раствор?

5. Какой станет массовая доля хлорной кислоты в растворе, если к 10 мл 20%-го раствора плотностью 1,13 г/мл добавить 40 мл воды?

### Вариант 27

1. В прил. 2 приведены составы растворов, используемых для гидропонного выращивания растений в условиях защищенного грунта. Пользуясь этими данными, вычислите молярную концентрацию каждой из солей калия, входящих в состав питательного раствора Кнопа. Плотность раствора принять равной 1 г/мл.

2. В каком объеме 0,06 н. раствора содержится 2,5 г иодида калия?

3. Какова молярная концентрация 20%-го раствора гидроксида натрия плотностью 1,22 г/мл?

4. До какого объема нужно разбавить 1,5 л 20%-го раствора хлорида аммония плотностью 1,057 г/мл, чтобы приготовить 10%-й раствор плотностью 1,029 г/мл?

5. Какой объем (мл) 39,9%-го раствора гидроксида калия плотностью 1,41 г/мл нужно взять для приготовления 500 мл 0,1 н. раствора?

### Вариант 28

1. В каком объеме 0,5 М раствора содержится 30,3 г нитрата калия?

2. Определите массовую долю аммиака в 15 н. растворе плотностью 0,898 г/мл.

3. Вычислите молярную концентрацию эквивалента сульфата железа(II) в 20%-м растворе плотностью 1,21 г/мл. Соль вступает в реакцию, в результате которой образуется гидроксид железа(II).

4. Во сколько раз следует упарить 3 л 0,5 М раствора гидроксида калия, чтобы получить 8%-й раствор плотностью 1,05 г/мл?

5. Какой объем (мл) 39,68%-й серной кислоты плотностью 1,3 г/мл нужно взять для приготовления 2 л раствора, титр которого равен 0,097 г/мл?

### Вариант 29

1. Клубни картофеля перед посадкой протравливают раствором сульфата меди. Для приготовления такого раствора

3,125 кг медного купороса растворили в 100 л воды. Вычислите массовую долю сульфата меди в полученном растворе.

2. Какова молярная концентрация 1,9 н. раствора фосфорной кислоты, если она вступает в реакцию полной нейтрализации?

3. Вычислите титр 0,5 М раствора серной кислоты.

4. Какой объем воды нужно прилить к 25 мл 1 М раствора гидрокарбоната натрия, чтобы приготовить 0,5 М раствора?

5. Какой объем (мл) 10,22%-го раствора хлорида натрия плотностью 1,105 г/мл нужно взять для приготовления 100 мл 0,2 М раствора?

### Вариант 30

1. В прил. 2 приведены составы растворов, используемых для гидропонного выращивания растений в условиях защищенного грунта. Пользуясь этими данными, вычислите молярную концентрацию каждой из солей азотной кислоты, входящих в состав питательного раствора Герике. Плотность раствора принять равной 1 г/мл.

2. Какова массовая доля гидроксида натрия в 2 н. растворе плотностью 1,08 г/мл?

3. Вычислите молярную концентрацию эквивалента фосфорной кислоты в 5%-м растворе плотностью 1,027 г/мл при условии полной нейтрализации.

4. Какой объем (мл) 15%-го раствора гидроксида калия плотностью 1,13 г/мл нужно взять для приготовления 1,5 л 0,25 н. раствора?

5. Во сколько раз следует упарить 4 л 0,1%-го раствора гидроксида натрия плотностью 1,0 г/мл, чтобы получить 0,125 н. раствор?

## Глава 4

# Растворы электролитов. Водородный показатель

---

В результате успешного освоения материала этой главы студент должен:

— **знать:** основные положения теории электролитической диссоциации;

— **уметь:** вычислять водородный и гидроксильный показатели растворов сильных и слабых электролитов, а также буферных растворов;

— **владеть:** представлениями об активности ионов.

**Изучите:** гл. 7 и 8 учебника.

**Повторите:** параграф 4.1 гл. 4, параграф 6.2 гл. 6 учебника.

---

### 4.1. Вопросы для подготовки к коллоквиуму

1. Какие вещества называются электролитами?
2. Чем сильные электролиты отличаются от слабых?
3. Какие кислоты и какие основания являются сильными электролитами?
4. Какими электролитами (сильными или слабыми) являются большинство солей?
5. Что такое гидратация?
6. Чем сильная гидратация отличается от слабой?
7. Что такое активность и коэффициент активности?
8. Что такое константа диссоциации?
9. Что такое степень диссоциации?
10. Какие величины связывает между собой закон разведения Оствальда?
11. Что такое водородный показатель?
12. Что такое гидроксильный показатель?
13. Что такое ионное произведение воды?
14. Как меняется ионное произведение воды при повышении температуры?
15. Каково числовое значение ионного произведения воды при 22°C?

16. Как взаимосвязаны водородный и гидроксильный показатели?
17. Что такое буферные растворы?
18. Из чего состоят буферные растворы?
19. Опишите механизм действия буферных растворов.

## 4.2. Примеры решения задач

Приступая к решению любой из задач этой главы, всегда нужно прежде всего выяснить для себя, о каком электролите (сильном или слабом) идет речь в условии задачи, и записать уравнение реакции электролитической диссоциации этого электролита. При решении задач о слабых электролитах следует пользоваться прил. 3.

### Задачи на закон разведения Оствальда

Этот закон показывает взаимосвязь между константой и степенью диссоциации слабого электролита:

$$K = \frac{\alpha^2 c}{1 - \alpha}.$$

Если степень диссоциации пренебрежимо мала по сравнению с единицей ( $\alpha \ll 1$ ), то можно считать, что разность  $1 - \alpha \approx 1$ . В этом случае  $K \approx \alpha^2 c$ . Отсюда можно получить уравнение, позволяющее оценивать числовое значение степени диссоциации слабого электролита для любой концентрации раствора:

$$\alpha = \sqrt{\frac{K}{c}}. \quad (4.1)$$

Понятно, что точность расчета степени диссоциации слабого электролита с использованием этого уравнения тем выше, чем меньше  $\alpha$ . Константа диссоциации в отличие от степени диссоциации — постоянная величина, не зависящая от концентрации. Числовые значения констант диссоциации важнейших слабых электролитов приведены в прил. 3.

#### Пример 4.1.

**Задача.** Вычислите степень диссоциации (%) азотистой кислоты в 0,01 М растворе.

Решение.

$c(\text{HNO}_2) = 0,01 \text{ моль/л}$ $\alpha = ?$		В прил. 3 находим числовое значение константы диссоциации азотистой кислоты: $K = 4,3 \cdot 10^{-4}$ . Подставляя его и числовое значение концентрации в уравнение (4.1), получаем
$\alpha = \sqrt{\frac{4,3 \cdot 10^{-4}}{10^{-2}}} 100\% = 21\%.$		

Следует отметить, что результат этого расчета пригоден только для приблизительной оценки степени диссоциации, так как числовое значение  $\alpha$  в данном случае вполне сопоставимо с единицей (100%).

Ответ.  $\alpha = 21\%$ .

### Задачи на определение водородного и гидроксильного показателей по известным значениям концентраций катионов водорода или гидроксид-ионов

Прежде чем приступить к решению задач этого раздела, нужно вспомнить, что такое десятичный логарифм.

*Десятичный логарифм числа* — это показатель степени, в которую нужно возвести 10, чтобы получить это число.

Для нахождения десятичных логарифмов можно воспользоваться калькулятором или таблицами десятичных логарифмов. Ниже приведена упрощенная таблица, позволяющая определять числовые значения рН и рОН, если известна активность (концентрация) катионов водорода  $\text{H}^+$  или гидроксид-ионов  $\text{OH}^-$  и, наоборот, находить активность (концентрацию) катионов  $\text{H}^+$  и гидроксид-ионов  $\text{OH}^-$  по данному значению водородного или гидроксильного показателя (табл. 4.1). Таблица 4.1 отличается от обычных таблиц логарифмов и антилогарифмов. Приемы работы с ней разъяснены в примерах 4.2 и 4.5.

В условиях задач этого типа ничего не говорится о химической природе веществ, являющихся источниками катионов  $\text{H}^+$  или анионов  $\text{OH}^-$ , а просто даются концентрации одного из этих ионов.

Чем меньше концентрации ионов, тем меньше их взаимодействие и, следовательно, тем меньше активности отличаются по своим числовым значениям от концентраций. Поэтому при небольших концентрациях этим отличием можно пренебрегать, рассчитывая рН раствора как отрицательный десятичный логарифм концентрации катионов водорода:

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+],$$

Таблица 4.1

## Расчет водородного показателя и активности катионов водорода

Десять доли pH или pOH	Сотые доли pH или pOH									
	,00	,01	,02	,03	,04	,05	,06	,07	,08	,09
	Значения $a_{H^+}$ или $a_{OH^-}$									
,0	1,000	0,977	0,955	0,933	0,912	0,891	0,871	0,851	0,832	0,813
,1	0,794	0,766	0,759	0,741	0,725	0,708	0,692	0,676	0,661	0,646
,2	0,631	0,617	0,603	0,589	0,575	0,562	0,550	0,537	0,525	0,513
,3	0,501	0,490	0,479	0,468	0,457	0,447	0,437	0,427	0,417	0,407
,4	0,398	0,389	0,380	0,372	0,363	0,355	0,347	0,339	0,331	0,324
,5	0,316	0,309	0,302	0,295	0,288	0,282	0,275	0,269	0,263	0,257
,6	0,251	0,245	0,240	0,234	0,229	0,224	0,219	0,214	0,209	0,204
,7	0,200	0,195	0,191	0,186	0,182	0,178	0,174	0,170	0,166	0,162
,8	0,158	0,155	0,151	0,148	0,145	0,141	0,138	0,135	0,132	0,129
,9	0,126	0,123	0,120	0,117	0,115	0,112	0,110	0,107	0,105	0,102

а гидроксильный показатель как отрицательный десятичный логарифм концентрации гидроксид-ионов:

$$\text{pOH} = -\lg[\text{OH}^-].$$

Однако при значительных концентрациях взаимодействие между ионами становится настолько сильным, что вызванное им отличие активности от концентрации уже нельзя не принимать во внимание. При достаточно высоких концентрациях катионов водорода водородный показатель нужно рассчитывать как отрицательный десятичный логарифм активности этих катионов:

$$\text{pH} = -\lg a_{\text{H}^+}$$

или

$$\text{pH} = -\lg \{f[\text{H}^+]\},$$

где  $f$  — коэффициент активности.

Аналогично при достаточно высоких концентрациях гидроксид-ионов гидроксильный показатель нужно также рассчитывать, используя значения коэффициентов активности:

$$\text{pOH} = -\lg \{f[\text{OH}^-]\}.$$

Возникает вопрос: где же та граница, которая отделяет концентрации, при которых для расчета pH и pOH нужно брать активности ионов, от концентраций, при которых достаточно корректным будет расчет этих величин без учета коэффициентов активности? Несложный расчет показывает, что при концентрациях порядка  $10^{-3}$  моль/л числовые значения pH, рассчитанные исходя из активностей и концентраций, различаются между собой на десятки доли процента. Таким отличием можно пренебречь. Однако при концентрациях порядка  $10^{-1}$  моль/л указанное отличие уже превышает 10% и им пренебрегать нельзя. Очевидно, что искомая граница приходится на концентрации порядка  $10^{-2}$  моль/л, для которых отличие числовых значений водородного показателя, рассчитанного исходя из активностей и концентраций, составляет несколько процентов. При концентрациях выше 0,01 моль/л при расчете pH следует принимать во внимание отличие активности от концентрации. При концентрациях ниже 0,01 моль/л отличием активности от концентрации можно пренебречь. Необходимые для расчета числовые значения коэффициентов активности, как правило, приводятся в условиях задачи.



**Пример 4.2.**

**Задача.** Вычислите pH томатного сока, концентрация катионов водорода в котором составляет  $4,79 \cdot 10^{-5}$  моль/л.

**Решение.**

$$[H^+] = 4,79 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л}$$

$$pH = ?$$

Так как в томатном соке концентрация катионов водорода мала, можно пренебречь отличием активности  $a_{H^+}$  от концентрации  $[H^+]$  и вычислять водородный показатель по уравнению  $pH = -\lg[H^+]$ .

Подставляем в это уравнение числовое значение концентрации:

$$pH = -\lg(4,79 \cdot 10^{-5}).$$

Чтобы воспользоваться табл. 4.1, преобразуем числовое выражение концентрации следующим образом:  $4,79$  умножаем на  $10^{-1}$ , а  $10^{-5}$  умножаем на  $10^1$  и получаем

$$(4,79 \cdot 10^{-1})(10^{-5} \cdot 10^1) = 0,479 \cdot 10^{-4}.$$

С учетом этого преобразования pH равен

$$pH = -\lg(0,479 \cdot 10^{-4}).$$

Логарифм произведения равен сумме логарифмов, поэтому

$$pH = -\lg 0,479 - \lg 10^{-4}.$$

Чтобы получить  $10^{-4}$ , десять надо возвести в степень  $-4$ , поэтому

$$-\lg 10^{-4} = 4.$$

Таким образом, целочисленная часть водородного показателя (та его часть, что стоит перед запятой) равна 4.

Для определения той части логарифма, которая стоит после запятой, в таблице находим значение  $a_{H^+}$ , равное 0,479, а затем, двигаясь от него влево по строке, находим значение десятых долей 0,3 в столбце «Десятые доли pH». После этого, двигаясь от 0,479 вверх по столбцу, находим в строке значение сотых долей 0,02 в строке «Сотые доли pH».

Объединяя найденные в нижеприведенной таблице значения десятых и сотых долей водородного показателя с его целочисленной частью, находим водородный показатель томатного сока:  $pH = 4,32$ .

**Ответ.** 4,32.

**Пример 4.3.**

**Задача.** Вычислите pH крови человека, если концентрация гидроксид-ионов в ней составляет  $2,24 \cdot 10^{-7}$  моль/л.

**Решение.**

$$[OH^-] = 2,24 \cdot 10^{-7} \text{ моль/л}$$

$$pH = ?$$

В условии задачи приведена концентрация гидроксид-ионов, а для расчета pH нужно знать активность

Десятые доли pH или рОН	Сотые доли pH или рОН									
	,00	,01	,02	,03	,04	,05	,06	,07	,08	,09
	↑									
	Значения $a_{H^+}$ или $a_{OH^-}$									
,0	1,000	0,977	0,955	0,933	0,912	0,891	0,871	0,851	0,832	0,813
,1	0,794	0,766	0,759	0,741	0,725	0,708	0,692	0,676	0,661	0,646
,2	0,631	0,617	0,603	0,589	0,575	0,562	0,550	0,537	0,525	0,513
,3	0,501	0,490	0,479	0,468	0,457	0,447	0,437	0,427	0,417	0,407

катионов водорода (в данном случае активность  $a_{H^+}$  можно принять равной концентрации, так как из дальнейшего расчета будет очевидно, что концентрация  $[H^+]$  очень мала). Концентрации катионов водорода и гидроксид-ионов связаны между собой ионным произведением воды:

$$[H^+][OH^-] = 10^{-14}.$$

Из этого уравнения находим концентрацию катионов водорода:

$$[H^+] = \frac{10^{-14}}{[OH^-]} = \frac{10^{-14}}{2,24 \cdot 10^{-7}} = 0,446 \cdot 10^{-7} \text{ моль/л.}$$

Водородный показатель вычисляем по формуле

$$pH = -\lg[H^+] = -\lg(0,446 \cdot 10^{-7}) = 7,35.$$

Ответ. 7,35.

#### Пример 4.4.

**Задача.** Вычислите pH раствора, концентрация катионов водорода в котором составляет 0,1 моль/л, коэффициент активности равен 0,796.

**Решение.**

$$\begin{array}{l} [H^+] = 10^{-1} \text{ моль/л} \\ f = 0,796 \end{array}$$

$$pH = ?$$

Концентрация катионов водорода в данном случае достаточно высока, поэтому при расчете pH следует учитывать отличие активности от концентрации и производить расчет при помощи уравнения

$$pH = -\lg \{[H^+]\}.$$

Подставляя числовые значения концентрации и коэффициента активности, получаем:

$$pH = -\lg(0,796 \cdot 10^{-1}) = 1,10.$$

Ответ. pH = 1,10.

### Задачи на вычисление концентраций катионов водорода и гидроксид-ионов по данным значениям pH или рОН

Это тип задач, обратный предыдущему. Найти концентрацию или активность катионов водорода по заданному значению pH можно при помощи калькулятора (функция  $a^x$ ) или при помощи приведенной выше упрощенной таблицы логарифмов (см. табл. 4.1). Так как pH — это отрицательный десятичный логарифм, т.е. взятый со знаком «минус» показатель степени, в которую нужно возвести 10, чтобы получить число, равное активности катионов водорода, то активность катионов водорода можно вычислить при помощи уравнения

$$a_{H^+} = 10^{-pH}.$$

Если концентрация катионов водорода невелика, то можно воспользоваться уравнением

$$[\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}}.$$

#### Пример 4.5.

**Задача.** Вычислите концентрацию катионов водорода и гидроксид-ионов в воде реки Волги, если ее  $\text{pH} = 7,82$ .

**Решение.**

$$\text{pH} = 7,82$$

$$[\text{H}^+] = ? \quad [\text{OH}^-] = ?$$

Концентрация катионов водорода в волжской воде, как будет очевидно из дальнейшего расчета, невелика, поэтому можно воспользоваться уравнением

$$[\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}}.$$

Подставляя в него числовое значение  $\text{pH}$ , получаем

$$[\text{H}^+] = 10^{-7,82}.$$

Затем находим в крайней левой колонке «Десятые доли  $\text{pH}$ » десятые доли дробной части водородного показателя ,8. Двигаясь по строке, которая начинается с этой цифры, слева направо до пересечения с колонкой, в верхней части которой находятся сотые доли водородного показателя 0,02, находим число 0,151 (см. нижеприведенную таблицу).

Умножив найденное число на 10 в степени, равной целочисленной части водородного показателя, т.е. на  $10^{-7}$ , получаем числовое значение концентрации катионов водорода в воде реки Волги:

$$[\text{H}^+] = 0,151 \cdot 10^{-7} = 1,51 \cdot 10^{-8} \text{ моль/л.}$$

Следует запомнить, что концентрация катионов водорода, вычисленная исходя из значения  $\text{pH}$ , — это всегда молярная концентрация.

Осталось вычислить концентрацию гидроксид-ионов. Сумма водородного и гидроксильного показателей

$$\text{pH} + \text{pOH} = 14.$$

Гидроксильный показатель находим как разность:

$$\text{pOH} = 14 - \text{pH}.$$

Подставляем числовое значение  $\text{pH}$ :

$$\text{pOH} = 14 - 7,82 = 6,18.$$

Гидроксильный показатель — это отрицательный десятичный логарифм, т.е. взятый со знаком «минус» показатель степени, в которую надо возвести 10, чтобы получить числовое значение концентрации гидроксид-ионов, т.е.

$$[\text{OH}^-] = 10^{-\text{pOH}}.$$

Подставляем числовое значение  $\text{pOH}$ :

$$[\text{OH}^-] = 10^{-6,18}.$$

Десятые доли pH или рОН	Сотые доли pH или рОН									
	,00	,01	,02	,03	,04	,05	,06	,07	,08	,09
	Значения $a_{H^+}$ или $a_{OH^-}$									
,0	1,000	0,977	0,955	0,933	0,912	0,891	0,871	0,851	0,832	0,813
,1	0,794	0,766	0,759	0,741	0,725	0,708	0,692	0,676	0,661	0,646
,2	0,631	0,617	0,603	0,589	0,575	0,562	0,550	0,537	0,525	0,513
,3	0,501	0,490	0,479	0,468	0,457	0,447	0,437	0,427	0,417	0,407
,4	0,398	0,389	0,380	0,372	0,363	0,355	0,347	0,339	0,331	0,324
,5	0,316	0,309	0,302	0,295	0,288	0,282	0,275	0,269	0,263	0,257
,6	0,251	0,245	0,240	0,234	0,229	0,224	0,219	0,214	0,209	0,204
,7	0,200	0,195	0,191	0,186	0,182	0,178	0,174	0,170	0,166	0,162
,8	0,158	0,155	0,151	0,148	0,145	0,141	0,138	0,135	0,132	0,129

При помощи табл. 4.1 находим:

$$10^{-6,18} = 0,661 \cdot 10^{-6}.$$

Таким образом, концентрация гидроксид-ионов равна

$$[\text{OH}^-] = 0,661 \cdot 10^{-6} = 6,61 \cdot 10^{-7} \text{ моль/л.}$$

Ответ.  $[\text{H}^+] = 1,51 \cdot 10^{-8}$  моль/л,  $[\text{OH}^-] = 6,61 \cdot 10^{-7}$  моль/л.

### Задачи на расчет pH сильных электролитов

Приступая к решению задач этого типа, необходимо вспомнить, какие вещества относятся к сильным кислотам и сильным основаниям. Сильные кислоты и сильные основания в растворах полностью диссоциируют. Например, сильная хлороводородная кислота полностью диссоциирует на катионы водорода и хлорид-ионы:



Из уравнения очевидно, что число продиссоциировавших молекул хлороводородной кислоты равно числу образовавшихся катионов водорода, поэтому концентрация катионов водорода в растворе сильной одноосновной кислоты равна концентрации этой кислоты:  $[\text{H}^+] = c_{\text{кисл.}}$

Сильное основание гидроксид калия полностью диссоциирует на катионы калия и гидроксид-ионы:



Из уравнения реакции очевидно, что концентрация гидроксид-ионов в растворе сильного однокислотного основания равна концентрации этого основания:  $[\text{OH}^-] = c_{\text{осн.}}$

При решении задач этого типа необходимо также помнить, что для расчета pH требуется *молярная* концентрация катионов водорода  $\text{H}^+$ , а для расчета pOH — *молярная* концентрация гидроксид-ионов  $\text{OH}^-$ .

#### Пример 4.6.

**Задача.** Вычислите pH раствора гидроксида калия, в котором массовая доля этого основания равна  $5,6 \cdot 10^{-3}\%$ . Плотность раствора принять равной 1 г/мл.

**Решение.**

$$\omega(\text{KOH}) = 5,6 \cdot 10^{-3}\% \\ \rho = 1 \text{ г/мл}$$

$$\text{pH} = ?$$

Начиная решение задачи, следует перейти от выражения состава раствора в массовых долях к выражению его через молярную концентрацию, потому что при расчете водородного и гидроксильного показателей под знаком логарифма могут

находиться только молярные концентрации соответствующих ионов.

Такие расчеты подробно разобраны в гл. 3 «Способы выражения состава растворов». Сначала записываем уравнения для расчета массовой доли и молярной концентрации:

$$c(\text{KOH}) = \frac{m(\text{KOH})}{M(\text{KOH})V} \cdot 1000; \quad \omega(\text{KOH}) = \frac{m(\text{KOH})}{V\rho} \cdot 100.$$

Затем решаем их относительно массы гидроксида калия:

$$m(\text{KOH}) = \frac{c(\text{KOH})M(\text{KOH})V}{1000}; \quad m(\text{KOH}) = \frac{\omega(\text{KOH})V\rho}{100}.$$

Так как масса растворенного вещества при переходе от одного способа выражения состава раствора к другому не изменяется, левые части обоих уравнений равны и можно приравнять их правые части:

$$\frac{c(\text{KOH})M(\text{KOH})V}{1000} = \frac{\omega(\text{KOH})V\rho}{100}.$$

Решаем новое уравнение относительно молярной концентрации гидроксида калия:

$$c(\text{KOH}) = \frac{10\omega(\text{KOH})\rho}{M(\text{KOH})}.$$

Подставляем числовые значения всех величин, входящих в правую часть уравнения, и вычисляем молярную концентрацию гидроксида калия:

$$c(\text{KOH}) = \frac{10 \cdot 5,6 \cdot 10^{-3} \cdot 1}{56} = 10^{-3} \text{ моль/л.}$$

Концентрация гидроксид-ионов в растворе гидроксида калия равна концентрации этого сильного основания:

$$[\text{OH}^-] = c(\text{KOH}) = 10^{-3} \text{ моль/л.}$$

Так как концентрация невелика, можно пренебречь ее отличием от активности и рассчитать гидроксильный показатель по уравнению

$$\text{pOH} = -\lg[\text{OH}^-] = -\lg 10^{-3} = 3.$$

Водородный показатель находим как разность взятого со знаком «минус» логарифма ионного произведения воды и гидроксильного показателя:

$$\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 14 - 3 = 11.$$

*Ответ.* pH = 11.

В примере 4.6 при расчете учитывалась исключительно концентрация гидроксид-ионов, образующихся при диссоциации сильного электролита, и не принималось во внимание, что гидроксид-ионы образуются не только при

диссоциации КОН, но и при диссоциации воды. Однако пренебрегать увеличением концентрации гидроксид-ионов в растворе сильного основания и увеличением концентрации катионов водорода в растворе сильной кислоты за счет диссоциации воды можно только в том случае, если концентрация сильного электролита достаточно велика и превышает  $10^{-5}$  моль/л. При расчетах рН и рОН очень разбавленных растворов сильных кислот и оснований следует принимать во внимание диссоциацию воды. Такие расчеты выходят за рамки данного пособия.

### Задачи на расчет рН слабых электролитов

Слабые электролиты диссоциируют неполностью, поэтому в растворах слабых кислот концентрация катионов водорода не равна концентрации кислоты:  $[H^+] \neq c_{\text{кисл}}$ , а в растворах слабых оснований концентрация гидроксид-иона не равна концентрации основания:  $[OH^-] \neq c_{\text{осн}}$ . По этой причине для расчета рН растворов слабых электролитов необходимы константы диссоциации, числовые значения которых приведены в приложении 3.

#### Пример 4.7.

**Задача.** Вычислите рН 0,1 н. раствора уксусной кислоты.

**Решение.**

$c(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,1 \text{ моль/л}$ $\text{рН} = ?$	Слабая уксусная кислоты диссоциирует обратимо в соответствии с уравнением $\text{CH}_3\text{COOH} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+$
---	---

Ее диссоциация подчиняется закону действующих масс и характеризуется константой равновесия:

$$K_{\text{кисл}} = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$$

Из уравнения реакции диссоциации очевидно, что концентрация катионов водорода равна концентрации ацетат-ионов:

$$[\text{CH}_3\text{COO}^-] = [\text{H}^+].$$

Степень диссоциации уксусной кислоты в 0,1 н. растворе мала:

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_{\text{кисл}}}{c_{\text{кисл}}}} = \sqrt{\frac{1,75 \cdot 10^{-5}}{10^{-1}}} 100\% = 1,3\%,$$

поэтому равновесная концентрация непродиссоциировавших молекул уксусной кислоты мало отличается от ее полной концентрации:

$$[\text{CH}_3\text{COOH}] \approx c_{\text{кисл}}$$



Следовательно, в уравнении для константы диссоциации  $[\text{CH}_3\text{COO}^-]$  можно заменить на равную ей  $[\text{H}^+]$ , а  $[\text{CH}_3\text{COOH}]$  на примерно равную ей  $c_{\text{кисл}}$ :

$$K_{\text{кисл}} = \frac{[\text{H}^+]^2}{c_{\text{кисл}}}.$$

Решив это уравнение относительно концентрации катионов водорода, получаем

$$[\text{H}^+] = \sqrt{K_{\text{кисл}} \cdot c_{\text{кисл}}}.$$

Подставив найденное в прил. 3 числовое значение константы диссоциации уксусной кислоты и данную в условиях задачи концентрацию уксусной кислоты (эта кислота одноосновная, поэтому молярная концентрация эквивалента для ее растворов равна молярной концентрации), производим вычисления:

$$[\text{H}^+] = \sqrt{1,75 \cdot 10^{-5} \cdot 10^{-1}} = 1,32 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л.}$$

Так как концентрация катионов водорода невелика, можно пренебречь отличием активности от концентрации и найти числовое значение pH:

$$\text{pH} = -\lg (0,132 \cdot 10^{-2}) = 2,88.$$

Ответ. pH = 2,88.

В примере 4.7 степень диссоциации слабой кислоты была достаточно малой и поэтому можно было пренебречь отличием концентрации непродиссоциировавших молекул уксусной кислоты от их полной концентрации. Если степень диссоциации слабого электролита достаточно велика и превышает 5%, при расчете следует принимать во внимание это отличие.

В разбавленных растворах слабых электролитов нужно принимать во внимание также диссоциацию воды. Например, если для раствора слабой кислоты произведение  $K_{\text{кисл}} \cdot c_{\text{кисл}}$  сравнимо по числовому значению с ионным произведением воды, то концентрацию катионов водорода следует рассчитывать по уравнению

$$[\text{H}^+] = \sqrt{K_{\text{кисл}} \cdot c_{\text{кисл}} + K_{\text{w}}}.$$

#### Пример 4.8.

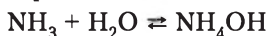
**Задача.** В 994,9 г воды растворили 6,72 л газообразного аммиака, объем которого измерен при н.у. Вычислите pH полученного раствора, плотность его равна 0,998 г/мл.

*Решение.*

$$\begin{aligned} m(\text{H}_2\text{O}) &= 994,9 \text{ г} \\ V(\text{NH}_3) &= 6,72 \text{ л} \\ \rho(\text{раствора}) &= 0,998 \text{ г/мл} \end{aligned}$$

$$\text{pH} = ?$$

Водный раствор аммиака проявляет свойства слабого основания. Поэтому часто говорят, что при растворении аммиака в воде образуется слабое основание — гидроксид аммония:



Несмотря на то что молекулы состава  $\text{NH}_4\text{OH}$  не существуют, такое представление оказывается удобным для составления уравнений реакций, описывающих основные свойства водных растворов аммиака. Например, написав реакцию электролитической диссоциации гидроксида аммония:



можно на основании закона действующих масс записать выражение для константы диссоциации:

$$K_{\text{осн}} = \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_4\text{OH}]}$$

Из уравнения реакции электролитической диссоциации очевидно, что концентрации катионов аммония и гидроксид-ионов в растворе аммиака равны:

$$[\text{NH}_4^+] = [\text{OH}^-]$$

Заменив в числителе уравнения концентрацию катионов аммония на равную ей концентрацию гидроксид-ионов и обозначив в знаменателе  $[\text{NH}_4\text{OH}]$  как  $c_{\text{осн}}$  (концентрацию слабого основания), получаем

$$K_{\text{осн}} = \frac{[\text{OH}^-]^2}{c_{\text{осн}}}$$

Решаем это уравнение относительно концентрации гидроксид-ионов:

$$[\text{OH}^-] = \sqrt{K_{\text{осн}} \cdot c_{\text{осн}}}$$

Чтобы вычислить при помощи этого уравнения концентрацию гидроксид-ионов в растворе аммиака, нужно знать  $c_{\text{осн}}$ , т.е. молярную концентрацию аммиака или численно равную ей концентрацию несуществующего гидроксида аммония. Сначала вычисляем количество вещества растворенного в воде аммиака. Для этого объем аммиака делим на молярный объем газа:

$$n(\text{NH}_3) = \frac{V(\text{NH}_3)}{V_{\text{н}}} = \frac{6,72}{22,4} = 0,3 \text{ моль.}$$

Зная количество вещества аммиака, рассчитываем его массу:

$$m(\text{NH}_3) = M(\text{NH}_3) \cdot n(\text{NH}_3) = 17 \cdot 0,3 = 5,1 \text{ г.}$$

Сложив массы воды и растворенного аммиака, находим массу полученного раствора:

$$m(\text{раствора}) = m(\text{H}_2\text{O}) + m(\text{NH}_3) = 994,9 + 5,1 = 1000 \text{ г.}$$

Разделив массу раствора на его плотность, находим объем раствора:

$$V(\text{раствора}) = \frac{m(\text{раствора})}{\rho(\text{раствора})} = \frac{1000}{0,998} = 1002 \text{ мл.}$$

После этого рассчитываем молярную концентрацию раствора аммиака:

$$c(\text{NH}_3) = \frac{m(\text{NH}_3)}{M(\text{NH}_3)V(\text{раствора})} 1000 = \frac{5,1}{17 \cdot 1002} 1000 = 0,3 \text{ моль/л.}$$

Подставляя числовые значения константы диссоциации и молярной концентрации в уравнение для расчета концентрации гидроксид-ионов, получаем

$$[\text{OH}^-] = \sqrt{1,75 \cdot 10^{-5} \cdot 3 \cdot 10^{-1}} = \sqrt{5,25 \cdot 10^{-6}} = 2,29 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л.}$$

Вычисляем гидроксильный, а затем водородный показатели раствора аммиака:

$$\text{pOH} = -\lg(2,29 \cdot 10^{-3}) = 2,64; \text{pH} = 14 - \text{pOH} = 14 - 2,64 = 11,36.$$

Ответ.  $\text{pOH} = 11,36$ .

### Задачи на расчет pH буферных растворов

Буферные растворы, как правило, состоят либо из слабой кислоты и ее соли, либо из слабого основания и его соли. Формулы для расчета водородного и гидроксильного показателей для таких буферных растворов приведены в табл. 8.4 учебника. В этой же таблице приведены формулы для расчета концентраций катионов водорода и гидроксид-ионов в буферных растворах.

#### Пример 4.9.

**Задача.** Вычислите pH раствора, в 500 мл которого содержится 3 г уксусной кислоты и 4,1 г ацетата натрия.

**Решение.**

$$\begin{aligned} m(\text{CH}_3\text{COOH}) &= 3 \text{ г} \\ m(\text{CH}_3\text{COONa}) &= 4,1 \text{ г} \\ V(\text{раствора}) &= 500 \text{ мл} \end{aligned}$$

$$\text{pH} = ?$$

Для расчета pH буферного раствора необходимо знать молярные концентрации входящих в его состав электролитов. Вычисляем сначала концентрацию уксусной кислоты, пользуясь уравнением

$$c_{\text{уксл}} = \frac{m(\text{CH}_3\text{COOH})}{M(\text{CH}_3\text{COOH})V(\text{раствора})} 1000.$$

Подставляя числовые значения и производя расчеты, получаем

$$c_{\text{кисл}} = \frac{3}{60 \cdot 500} 1000 = 0,1 \text{ моль/л.}$$

При помощи уравнения

$$c_{\text{соли}} = \frac{m(\text{CH}_3\text{COONa})}{M(\text{CH}_3\text{COONa})V(\text{раствора})} 1000$$

вычисляем концентрацию соли — ацетата натрия:

$$c_{\text{соли}} = \frac{4,1}{82 \cdot 500} 1000 = 0,1 \text{ моль/л.}$$

Подставляя полученные концентрации, а также взятое из прил. 3 числовое значение константы диссоциации уксусной кислоты, в уравнение для расчета pH буферного раствора, состоящего из слабой кислоты и ее соли, получаем

$$\text{pH} = -\lg K_{\text{кисл}} - \lg \frac{c_{\text{кисл}}}{c_{\text{соли}}} = -\lg(1,75 \cdot 10^{-5}) - \lg \frac{0,1}{0,1} = 4,76.$$

Ответ. pH = 4,76.

#### Пример 4.10.

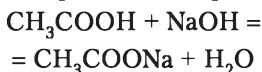
**Задача.** К 236,2 мл 1 н. раствора уксусной кислоты прилили 50 мл 1 н. раствора гидроксида натрия. Вычислите pH полученного буферного раствора.

**Решение.**

$$\begin{aligned} V(\text{CH}_3\text{COOH}) &= 236,2 \text{ мл} \\ c(\text{CH}_3\text{COOH}) &= 1 \text{ моль/л} \\ V(\text{NaOH}) &= 50 \text{ мл} \\ c(\text{NaOH}) &= 1 \text{ моль/л} \end{aligned}$$

pH = ?

При смешении растворов уксусной кислоты и гидроксида натрия происходит реакция нейтрализации:



В соответствии с законом эквивалентов массы реагирующих веществ относятся между собой как молярные массы их эквивалентов. Вследствие этого произведения концентраций и объемов кислоты и основания, вступающих в реакцию нейтрализации, равны между собой:

$$c(\text{CH}_3\text{COOH}) \cdot V(\text{CH}_3\text{COOH}) = c(\text{NaOH}) \cdot V(\text{NaOH}).$$

Из этого соотношения вычисляем, какой объем кислоты будет нейтрализован 50 мл 1 н. раствора гидроксида натрия:

$$V(\text{CH}_3\text{COOH}) = \frac{c(\text{NaOH}) \cdot V(\text{NaOH})}{c(\text{CH}_3\text{COOH})} = \frac{1 \cdot 50}{1} = 50 \text{ мл.}$$

Таким образом, для нейтрализации прилитого объема гидроксида натрия требуется 50 мл раствора уксусной кислоты.

В реальных условиях реакция происходит во всем объеме полученного раствора и объем этого раствора увеличивается в результате прибавления к раствору кислоты раствора основания. Однако для упрощения расчета можно представить себе, что раствор, в котором произошла реакция нейтрализации, не смешивается с раствором непрореагировавшей кислоты и что общий объем раствора остается неизменным, равным исходному, т.е. 236,2 мл. Пользуясь этой моделью, можно сказать, что объем 1 н. раствора кислоты, вступившей в реакцию с гидроксидом натрия, равен 50 мл и в этом объеме кислота превратилась в соль — ацетат натрия. Концентрация образовавшейся соли будет равна исходной концентрации кислоты, так как согласно уравнению реакции из 1 моль кислоты образуется 1 моль соли. Таким образом, при взаимодействии гидроксида натрия с уксусной кислотой получено 50 мл 1 н. раствора соли. Объем 1 н. уксусной кислоты, не вступившей в реакцию, равен разности исходного объема и объема кислоты, нейтрализованной основанием:  $236,2 - 50 = 186,2$  мл. Итак, получен буферный раствор, состоящий из 186,2 мл 1 н. раствора уксусной кислоты и 50 мл 1 н. раствора ацетата натрия. Рассчитываем pH такого раствора по уравнению

$$\text{pH} = -\lg K_{\text{кисл}} - \lg \frac{c_{\text{кисл}} \cdot V_{\text{кисл}}}{c_{\text{соли}} \cdot V_{\text{соли}}}.$$

Подставляем в это уравнение числовые значения константы диссоциации, концентраций и объемов (для одноосновной уксусной кислоты и для ацетата натрия, у которого фактор эквивалентности равен  $\frac{1}{1 \cdot 1}$ , молярные концентрации совпадают по числовому значению с молярными концентрациями эквивалента):

$$\text{pH} = -\lg(1,75 \cdot 10^{-5}) - \lg \frac{1 \cdot 186,2}{1 \cdot 50} = 4,18.$$

*Ответ.* pH = 4,18.

#### Пример 4.11.

**Задача.** Вычислите концентрацию гидроксид-ионов в буферном растворе, полученном из 0,1 н. раствора аммиака, в результате его нейтрализации на 60% хлороводородной кислотой.

*Решение.*

$$\begin{aligned} c(\text{NH}_3)_{\text{исх}} &= 0,1 \text{ моль/л} \\ c(\text{NH}_3)_{\text{нейтр}} &= 60\% c(\text{NH}_3)_{\text{исх}} \end{aligned}$$

$$[\text{OH}^-] = ?$$

Водный раствор аммиака, как известно, проявляет свойства слабого основания. Чтобы отразить основные свойства, часто вместо «раствор аммиака» говорят «гидроксид аммония» и записывают его химическую

формулу как  $\text{NH}_4\text{OH}$ , хотя молекулы такого состава не существуют.

При добавлении хлороводородной кислоты к раствору аммиака образуется хлорид аммония:



Раствор, содержащий одновременно аммиак и хлорид аммония, проявляет буферные свойства. Для расчета концентрации гидроксид-ионов в таком растворе можно воспользоваться уравнением, приведенным в табл. 8.4 учебника для буферных растворов, состоящих из слабого основания и его соли:

$$[\text{OH}^-] = K_{\text{осн}} \frac{c_{\text{осн}}}{c_{\text{соли}}}$$

В это уравнение наряду с константой диссоциации, которая приведена в прил. 3, входит отношение концентраций основания и соли. Это отношение оговорено в условии через долю аммиака, который превращается в соль в результате его нейтрализации хлороводородной кислотой; 60% от исходной концентрации аммиака, составлявшей 0,1 моль/л, равны  $0,1 \cdot 0,6 = 0,06$  моль/л. Концентрация образовавшейся в результате нейтрализации аммиака соли — хлорида аммония — также равна 0,06 моль/л. В растворе остается 40% исходного содержания аммиака, что составляет  $0,1 \cdot 0,4 = 0,04$  моль/л. Это значение следует подставить в расчетное уравнение в качестве концентрации основания  $c_{\text{осн}}$ . Подставив в расчетное уравнение все числовые значения, получаем

$$[\text{OH}^-] = 1,79 \cdot 10^{-5} \frac{0,04}{0,06} = 1,19 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л.}$$

Ответ.  $[\text{OH}^-] = 1,19 \cdot 10^{-5}$  моль/л.

#### Пример 4.12.

**Задача.** Вычислите соотношение концентраций аммиака и хлорида аммония в аммиачном буферном растворе, рН которого равен 10.

**Решение.**

рН = 10	Эта задача, обратная рассмотренной в примере 4.10. Для ее решения следует воспользоваться уравнением, приведенном в табл. 8.4 учебника для расчета гидроксильного показателя буферного раствора, состоящего из слабого основания и его соли:
$\frac{c(\text{NH}_3)}{c(\text{NH}_4\text{Cl})} = ?$	

$$\text{pOH} = -\lg K_{\text{осн}} - \lg \frac{c_{\text{осн}}}{c_{\text{соли}}}$$

Зная, что сумма водородного и гидроксильного показателей равна 14, по заданному числовому значению рН находим значение рОН:

$$\text{pOH} = 14 - \text{pH} = 14 - 10 = 4.$$

Решив это уравнение относительно  $\lg \frac{c_{\text{осн}}}{c_{\text{соли}}}$ , получаем

$$\begin{aligned}\lg \frac{c_{\text{осн}}}{c_{\text{соли}}} &= -\text{pOH} - \lg K_{\text{осн}} = -4 - \lg 1,79 \cdot 10^{-5} = \\ &= -4 - (-4,75) = 0,75.\end{aligned}$$

Помня, что десятичный логарифм числа — это показатель степени, в которую надо возвести 10, чтобы получить данное число, находим числовое значение отношения концентраций аммиака и его соли в буферном растворе:

$$\frac{c_{\text{осн}}}{c_{\text{соли}}} = 10^{0,75} = 5,62.$$

Ответ:  $\frac{c(\text{NH}_3)}{c(\text{NH}_4\text{Cl})} = 5,62.$

### 4.3. Индивидуальные задания

#### Вариант 1

1. Вычислите pH томатного сока, в 100 л которого содержится 4 мг катионов водорода.

2. Оптимальные значения pH почвы для выращивания гороха колеблются в пределах от 6,0 до 8,0. Во сколько раз концентрация катионов водорода, соответствующая минимальному допустимому значению pH, превышает концентрацию катионов водорода, соответствующую максимальному значению pH?

3. Вычислите pH раствора хлороводородной кислоты, в 1 л которого содержится 36,5 г HCl: а) без учета отличия активности от концентрации; б) с учетом отличия активности от концентрации (значение коэффициента активности см. на с. 76 учебника). Можно ли в данном случае пренебречь отличием активности от концентрации?

4. Вычислите степень диссоциации муравьиной кислоты в 0,2 М растворе и pH этого раствора.

5. Вычислите pOH раствора, в 2 л которого содержится 1 моль аммиака и 53,5 г хлорида аммония.

#### Вариант 2

1. Вычислите pH слюны крупного рогатого скота, если концентрация гидроксид-ионов в ней равна  $1,86 \cdot 10^{-6}$  моль/л.

2. Числовое значение водородного показателя в воде реки Дон составляет 8,2, а в воде реки Егорлык — 7,2. В какой реке концентрация катионов водорода выше и во сколько раз?

3. Вычислите рОН раствора гидроксида натрия, полученного из 1 л воды и 40 г NaOH: а) без учета отличия активности от концентрации; б) с учетом отличия активности от концентрации,  $f_{\pm}(\text{NaOH}) = 0,677$ . Плотность раствора 1,04 г/мл. Можно ли в данном случае пренебречь отличием активности от концентрации?

4. Вычислите степень диссоциации уксусной кислоты в 0,2 М растворе и рН этого раствора.

5. Вычислите рН 0,2 н. раствора уксусной кислоты, нейтрализованного гидроксидом натрия на 50%.

### Вариант 3

1. Вычислите рН сока сельдерея, концентрация катионов водорода в котором составляет  $6,31 \cdot 10^{-6}$  моль/л.

2. Вычислите концентрацию катионов водорода и гидроксид-ионов в артериальной крови взрослого человека, если ее рН = 7,39.

3. Вычислите рН раствора азотной кислоты, полученного из 999,37 мл воды и 63,63 г 99%-й  $\text{HNO}_3$ : а) без учета отличия активности от концентрации; б) с учетом отличия активности от концентрации,  $f_{\pm}(\text{HNO}_3) = 0,72$ . Плотность раствора 1,033 г/мл. Можно ли в данном случае пренебречь отличием активности от концентрации?

4. Вычислите степень диссоциации азотистой кислоты в 0,5 н. растворе и рН этого раствора.

5. Вычислите рОН 0,1 н. раствора аммиака, нейтрализованного хлороводородной кислотой на 50%.

### Вариант 4

1. Вычислите рН крови крупного рогатого скота, концентрация катионов водорода в котором составляет  $4,27 \cdot 10^{-8}$  моль/л.

2. В соответствии с нормативами Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) для питьевой воды ее рН должен находиться в пределах от 6,5 до 8,5. Во сколько раз концентрация катионов водорода, соответствующая минимальному допустимому значению рН, превышает концентрацию катионов водорода, соответствующую максимальному значению рН?

3. Вычислите рН раствора гидроксида калия, в 1 л которого содержится 56 г KOH: а) без учета отличия активности



от концентрации; б) с учетом отличия активности от концентрации (значение коэффициента активности см. на с. 76 учебника). Можно ли в данном случае пренебречь отличием активности от концентрации?

4. Вычислите степень диссоциации селеноводородной кислоты в 0,1 М растворе и рН этого раствора.

5. Вычислите рН раствора, в 1 л которого содержится 23 г муравьиной кислоты и 21 г формиата калия.

### Вариант 5

1. Вычислите рН крови овец, концентрация катионов водорода в которой составляет  $3,09 \cdot 10^{-8}$  моль/л.

2. Вычислите концентрацию катионов водорода и гидроксид-ионов в брусничном соке, рН которого равен 2,44.

3. Вычислите рН раствора бромоводородной кислоты, в 1 л которого содержится 81 г НВг: а) без учета отличия активности от концентрации; б) с учетом отличия активности от концентрации,  $f(\text{HBr}) = 0,871$ . Можно ли в данном случае пренебречь отличием активности от концентрации?

4. Вычислите рОН 0,1 М водного раствора аммиака.

5. Вычислите рН раствора, содержащего 0,01 моль/л уксусной кислоты и 0,1 моль/л ацетата натрия.

### Вариант 6

1. Вычислите рОН крови свиньи, концентрация катионов водорода в которой составляет  $2,82 \cdot 10^{-7}$  моль/л.

2. Оптимальные значения рН почвы для выращивания табака колеблются в пределах от 5,5 до 7,5. Во сколько раз концентрация катионов водорода, соответствующая минимальному допустимому значению рН, превышает концентрацию катионов водорода, соответствующую максимальному значению рН?

3. Вычислите рН 10 М раствора хлороводородной кислоты: а) без учета отличия активности от концентрации; б) с учетом отличия активности от концентрации (значение коэффициента активности см. на с. 76 учебника). Можно ли в данном случае пренебречь отличием активности от концентрации?

4. В 100 мл воды растворили 2,24 мл газообразного сероводорода (н.у.). Вычислите степень диссоциации сероводородной кислоты в полученном растворе и рН этого раствора. Плотность раствора принять равной 1 г/мл.

5. Вычислите рН раствора, в 2 л которого содержится 2 моль аммиака и 107 г хлорида аммония.

**Вариант 7**

1. Вычислите рН сока незрелого апельсина, в 200 мл которого содержится 0,25 ммоль катионов водорода.

2. Числовые значения водородного показателя для слюны лошади колеблются в пределах от 7,31 до 7,80. Во сколько раз наибольшее значение концентрации катионов водорода в слюне лошади больше наименьшего ее значения?

3. Вычислите рОН 3 М раствора гидроксида натрия: а) без учета отличия активности от концентрации; б) с учетом отличия активности от концентрации,  $f_{\pm}(\text{NaOH}) = 0,78$ . Можно ли в данном случае пренебречь отличием активности от концентрации?

4. Вычислите степень диссоциации азотноватистой кислоты в 0,01 М растворе и рН этого раствора.

5. Вычислите рН раствора, в 5 л которого содержится 120 г уксусной кислоты и 164 г ацетата натрия.

**Вариант 8**

1. Вычислите рН крови птицы, концентрация катионов водорода в которой составляет  $3,80 \cdot 10^{-8}$  моль/л.

2. Вычислите концентрацию катионов водорода и гидроксид-ионов в спинно-мозговой жидкости человека, если ее рН = 7,35.

3. Вычислите рН 2,75 М раствора азотной кислоты: а) без учета отличия активности от концентрации; б) с учетом отличия активности от концентрации,  $f_{\pm}(\text{HNO}_3) = 0,859$ . Можно ли в данном случае пренебречь отличием активности от концентрации?

4. Вычислите степень диссоциации хлорноватистой кислоты в 0,01 М растворе и рН этого раствора.

5. Вычислите рОН раствора, в 1 л которого растворено 4,48 л аммиака (н.у.) и 107 г хлорида аммония.

**Вариант 9**

1. Вычислите рОН крови овцы, концентрация катионов водорода в которой составляет  $3,24 \cdot 10^{-8}$  моль/л.

2. Вычислите концентрацию катионов водорода и гидроксид-ионов в воде Цимлянского водохранилища, если ее рН = 8,40.

3. Вычислите рН 10 М раствора гидроксида калия: а) без учета отличия активности от концентрации; б) с учетом отличия активности от концентрации (значение коэффициента активности см. на с. 76 учебника). Можно ли в данном случае пренебречь отличием активности от концентрации?

4. В 100 мл воды растворили 224 мл газообразного циановодорода. Вычислите степень диссоциации циановодородной кислоты в полученном растворе и pH этого раствора. Плотность раствора принять равной 1 г/мл.

5. Вычислите pH раствора, полученного после растворения 0,5350 г безводного хлорида аммония в 50 мл 0,1 н. водного раствора аммиака. Изменением объема в результате растворения соли пренебречь.

### Вариант 10

1. Вычислите рОН крови крупного рогатого скота, концентрация катионов водорода в которой составляет  $2,34 \cdot 10^{-7}$  моль/л.

2. Вычислите концентрацию катионов водорода и гидроксид-ионов в апельсиновом соке, pH которого равен 3,82.

3. Вычислите pH 2 М раствора бромоводородной кислоты: а) без учета отличия активности от концентрации; б) с учетом отличия активности от концентрации,  $f_{\pm}(\text{HBr}) = 1,674$ . Можно ли в данном случае пренебречь отличием активности от концентрации?

4. Вычислите степень диссоциации бромноватистой кислоты в 0,001 М растворе и pH этого раствора.

5. Вычислите pH раствора, полученного после растворения 3,280 г безводного ацетата натрия в 200 мл 0,1 н. раствора уксусной кислоты. Изменением объема в результате растворения соли пренебречь.

### Вариант 11

1. Вычислите pH сока, отжатого из ананаса, в котором концентрация катионов водорода составляет  $3,98 \cdot 10^{-5}$  моль/л.

2. Оптимальные значения pH почвы для выращивания ржи колеблются в пределах от 5,0 до 7,0. Во сколько раз концентрация катионов водорода, соответствующая минимальному допустимому значению pH, превышает концентрацию катионов водорода, соответствующую максимальному значению pH?

3. Вычислите pH раствора хлороводородной кислоты, если в 1 л воды растворено 22,4 мл газообразного хлороводорода (н.у.): а) без учета отличия активности от концентрации; б) с учетом отличия активности от концентрации (значение коэффициента активности см. на с. 76 учебника). Плотность раствора принять равной 1 г/мл. Можно ли в данном случае пренебречь отличием активности от концентрации?

4. В 1 л воды растворили 24,64 г газообразного аммиака (н.у.). Вычислите рН полученного раствора, если его плотность равна 0,99 г/мл.

5. Вычислите рОН раствора, в 400 мл которого содержится 18,4 г муравьиной кислоты и 33,6 г формиата калия.

### Вариант 12

1. Вычислите рН сока спелого апельсина, в 250 мл которого содержится  $4 \cdot 10^{-5}$  моль катионов водорода.

2. Пищеварительный фермент млекопитающих пепсин А наилучшим образом проявляет свою активность при значениях рН от 1,50 до 2,50. Во сколько раз концентрация катионов водорода, соответствующая наименьшему из этих значений рН, превышает концентрацию катионов водорода, соответствующую наибольшему значению рН?

3. Вычислите рН раствора гидроксида натрия, если в 1 л воды содержится 0,04 г NaOH: а) без учета отличия активности от концентрации; б) с учетом отличия активности от концентрации,  $f_{\pm}(\text{NaOH}) = 0,90$ . Плотность раствора 1 г/мл. Можно ли в данном случае пренебречь отличием активности от концентрации?

4. Вычислите рН 0,001 М водного раствора сероводородной кислоты. Диссоциацией по второй ступени пренебречь.

5. Вычислите рОН раствора, в 250 мл которого содержится 0,25 моль аммиака и 13,375 г хлорида аммония.

### Вариант 13

1. Вычислите рН раствора, в котором концентрация гидроксид-ионов составляет  $1,3 \cdot 10^{-5}$  моль/л.

2. Вычислите концентрацию катионов водорода и гидроксид-ионов в соке, отжатом из лука, если его рН 4,31.

3. Вычислите рН раствора азотной кислоты, в 1 л которого содержится 0,063 г  $\text{HNO}_3$ : а) без учета отличия активности от концентрации; б) с учетом отличия активности от концентрации,  $f_{\pm}(\text{HNO}_3) = 0,965$ . Можно ли в данном случае пренебречь отличием активности от концентрации?

4. Вычислите рОН 0,1 М раствора гидроксиламина.

5. Вычислите рН раствора, полученного после прибавления 25 мл 0,1 н. раствора гидроксида натрия к 50 мл 0,1 н. раствора уксусной кислоты

### Вариант 14

1. Вычислите рН воды в реке Дон, концентрация гидроксид-ионов в которой составляет  $1,58 \cdot 10^{-6}$  моль/л.

2. Вычислите концентрацию катионов водорода, которая обеспечивает наилучшее действие пищеварительного фермента  $\alpha$ -амилазы слюны млекопитающих, если соответствующее значение рН равно 6,70.

3. Вычислите рН раствора гидроксида калия, в 1 л которого содержится 0,056 г КОН: а) без учета отличия активности от концентрации; б) с учетом отличия активности от концентрации (значение коэффициента активности см. на с. 76 учебника). Плотность раствора принять равной 1 г/мл. Можно ли в данном случае пренебречь отличием активности от концентрации?

4. Вычислите степень диссоциации муравьиной кислоты в 0,18 М растворе и рН этого раствора.

5. Вычислите рН раствора, полученного после добавления 20 мл 0,1 н. раствора хлороводородной кислоты к 40 мл 0,1 н. раствора аммиака.

### Вариант 15

1. Вычислите рН воды Веселовского водохранилища, концентрация гидроксид-ионов в которой составляет  $6,31 \cdot 10^{-7}$  моль/л.

2. Оптимальные значения рН почвы для роста щавеля кислого колеблются в пределах от 4,0 до 7,5. Во сколько раз концентрация катионов водорода, соответствующая минимальному допустимому значению рН, превышает концентрацию катионов водорода, соответствующую максимальному значению рН?

3. Вычислите рН раствора бромоводородной кислоты, если в 1 л воды растворено 22,4 мл газообразного бромоводорода (н.у.): а) без учета отличия активности от концентрации; б) с учетом отличия активности от концентрации,  $f_{\pm}(\text{HBr}) = 0,966$ . Плотность раствора 1 г/мл. Можно ли в данном случае пренебречь отличием активности от концентрации?

4. Вычислите степень диссоциации сероводородной кислоты в  $5 \cdot 10^{-3}$  М растворе и рН этого раствора. Диссоциацией по второй ступени пренебречь.

5. В 500 мл воды растворили 11,2 л газообразного аммиака (н.у.). Раствор аммиака на 50% нейтрализовали хлороводородной кислотой. Вычислите рОН полученного раствора.

### Вариант 16

1. Вычислите рОН воды в реке Кубань, молярная концентрация катионов водорода в которой составляет  $2 \cdot 10^{-8}$  моль/л.

2. Числовые значения водородного показателя для человеческого пота колеблются в пределах от 4,00 до 6,80. Во сколько раз наибольшее значение концентрации катионов водорода в поте человека больше наименьшего ее значения?

3. Вычислите pH раствора, в 200 мл которого содержится 4,02 г хлорной кислоты: а) без учета отличия активности от концентрации; б) с учетом отличия активности от концентрации,  $f_{\pm}(\text{HClO}_4) = 0,778$ . Можно ли в данном случае пренебречь отличием активности от концентрации?

4. В 981,3 г воды растворили 24,64 л газообразного аммиака (н.у.). Вычислите pH полученного раствора плотностью 0,99 г/мл.

5. Какую массу (г) ацетата натрия нужно растворить в 1 л 0,1 М раствора уксусной кислоты, чтобы получить буферный раствор с pH, равным 4,76?

#### Вариант 17

1. Вычислите pH брусничного сока, в 250 мл которого содержится 1 ммоль катионов водорода.

2. В зобу курицы pH равен 4,51, в мускульном желудке он равен 2,60. В каком из отделов пищеварительного тракта курицы концентрация катионов водорода выше и во сколько раз?

3. Какая масса (г) гидроксида натрия содержится в 500 мл раствора этого основания, если его pH равен 10? Отличием концентрации от активности пренебречь.

4. В 1 л раствора содержится 6,4 г гидразина. Вычислите pOH этого раствора. Можно ли пренебречь диссоциацией по второй ступени?

5. Для получения 1 л аммиачного буферного раствора взяли 9,23 мл 20%-го раствора аммиака плотностью 0,921 г/мл и 52 мл 10%-го раствора хлорида аммония плотностью 1,029 г/мл. Вычислите pH этого раствора.

#### Вариант 18

1. Вычислите pH воды Цимлянского водохранилища, молярная концентрация гидроксид-ионов в которой составляет  $2,51 \cdot 10^{-6}$  моль/л.

2. Пищеварительный фермент липаза растительных зверей наилучшим образом проявляет свою активность при значениях pH от 8,40 до 9,00. Во сколько раз концентрация катионов водорода, соответствующая наименьшему из этих значений pH, превышает концентрацию катионов водорода, соответствующую наибольшему значению pH?

3. Вычислите рН 0,365%-го раствора хлороводородной кислоты: а) без учета отличия активности от концентрации; б) с учетом отличия активности от концентрации (значение коэффициента активности см. на с. 76 учебника). Плотность раствора принять равной 1 г/мл. Можно ли в данном случае пренебречь отличием активности от концентрации?

4. В 1 л раствора содержится 6,6 г гидроксилamina. Вычислите рОН этого раствора.

5. Каково отношение молярных концентраций уксусной кислоты и ацетата аммония в буферном растворе, если его рН равен 4,76?

### Вариант 19

1. Вычислите рОН воды в озерах Барабинской низменности, молярная концентрация катионов водорода в которой составляет  $5 \cdot 10^{-9}$  моль/л.

2. Вычислите концентрацию катионов водорода и гидроксид-ионов в ежевичном соке, рН которого равен 2,73.

3. Вычислите рН раствора гидроксида калия, титр которого равен 0,0056 г/мл: а) без учета отличия активности от концентрации; б) с учетом отличия активности от концентрации (значение коэффициента активности см. на с. 76 учебника). Можно ли в данном случае пренебречь отличием активности от концентрации?

4. В 1 л раствора содержится 6,4 г гидразина. Вычислите рОН этого раствора.

5. Какое количество вещества (моль) формиата натрия содержится в 1 л формиатного буферного раствора, если концентрация муравьиной кислоты в этом растворе составляет 0,1 моль/л, а его рН равен 3,74?

### Вариант 20

1. Вычислите рОН дренажных вод Волгоградской области, молярная концентрация катионов водорода в которых составляет  $7,94 \cdot 10^{-9}$  моль/л.

2. Числовые значения водородного показателя для слюны свиньи колеблются в пределах от 7,15 до 7,47. Во сколько раз наибольшее значение концентрации катионов водорода в слюне свиньи больше наименьшего ее значения?

3. Какой объем (мл) газообразного хлороводорода (н.у.) взяли для получения 10 л раствора соляной кислоты, рН которого равен 3? Нужно ли в данном случае учитывать отличие концентрации от активности?

4. Вычислите рН 0,93 М раствора гидразина.



5. Какое количество вещества (моль) хлорида аммония содержится в 1 л аммиачного буферного раствора, если концентрация аммиака в этом растворе составляет 0,1 моль/л, а его  $pOH$  равен 4,75?

### Вариант 21

1. Вычислите  $pH$  яблочного сока, в 250 мл которого содержится 0,1 ммоль катионов водорода.

2. Оптимальные значения  $pH$  почвы для выращивания картофеля колеблются в пределах от 5,4 до 6,7. Во сколько раз концентрация катионов водорода, соответствующая минимальному допустимому значению  $pH$ , превышает концентрацию катионов водорода, соответствующую максимальному значению  $pH$ ?

3. Вычислите  $pH$  50%-го раствора хлорной кислоты плотностью 1,41 г/мл: а) без учета отличия активности от концентрации; б) с учетом отличия активности от концентрации,  $f_{\pm}(HClO_4) = 30,9$ . Можно ли в данном случае пренебречь отличием активности от концентрации?

4. Вычислите  $pOH$  0,1 М раствора гидроксилamina.

5. Какое количество вещества (моль) ацетата натрия содержится в 1 л ацетатного буферного раствора, если концентрация уксусной кислоты в этом растворе составляет 0,1 моль/л, а его  $pH$  равен 4,76?

### Вариант 22

1. Вычислите  $pH$  почвенного раствора чернозема обыкновенного, молярная концентрация гидроксид-ионов в котором составляет  $6,31 \cdot 10^{-7}$  моль/л.

2. Вычислите концентрацию катионов водорода и гидроксид-ионов в соке, отжатом из картофеля, если его  $pH$  равен 5,64.

3. Какой объем (мл) газообразного иодоводорода (н.у.) взяли для получения 200 мл раствора иодоводородной кислоты,  $pH$  которого равен 2,7? Нужно ли в данном случае учитывать отличие концентрации от активности?

4. Вычислите  $pH$  раствора хлорноватистой кислоты, в 1 л которого содержится 0,525 г  $HOCl$ .

5. Вычислите  $pH$  раствора, полученного сливанием равных объемов 0,5 М водного раствора аммиака и 1 М раствора хлорида аммония.

### Вариант 23

1. Вычислите  $pH$  яблочного сока, в котором концентрация гидроксид-ионов составляет  $2,7 \cdot 10^{-8}$  моль/л.



2. Вычислите концентрацию катионов водорода, которая обеспечивает наилучшее действие пищеварительного фермента липазы плотоядных зверей, если соответствующее значение pH равно 8,0.

3. Вычислите pH раствора хлорной кислоты, титр которого равен 0,3 г/мл: а) без учета отличия активности от концентрации; б) с учетом отличия активности от концентрации,  $f_{\pm}(\text{HClO}_4) = 1,448$ . Можно ли в данном случае пренебречь отличием активности от концентрации?

4. Рассчитайте степень и константу диссоциации слабой одноосновной кислоты, если известно, что при концентрации кислоты 0,1 моль/л pH раствора равен 2,87.

5. Вычислите pOH аммиачного буферного раствора, в 1 л которого содержится 1,7 г аммиака и 5,35 г хлорида аммония.

#### Вариант 24

1. Вычислите pH почвенного раствора чернозема обыкновенного приазовского тяжелосуглинистого, в 1 л которого содержится 27 мкг гидроксид-ионов.

2. В толстой кишке утки pH равен 6,37, а в мускульном желудке он равен 2,33. В каком отделе пищеварительного тракта утки концентрация катионов водорода выше и во сколько раз?

3. Какая масса (г) гидроксида рубидия содержится в 500 мл раствора этого основания, если его pH равен 10? Отличием концентрации от активности пренебречь.

4. Рассчитайте степень диссоциации муравьиной кислоты в 0,18 М растворе и pH этого раствора.

5. Вычислите pH аммиачного буферного раствора, для получения 1 л которого взяли 100 мл 5,25%-го водного раствора аммиака плотностью 0,976 г/мл и 50 мл 10,5%-го раствора хлороводородной кислоты плотностью 1,05 г/мл.

#### Вариант 25

1. Вычислите pOH лизиметрического раствора орошаемого чернозема обыкновенного (глубина 30 см), в 100 л которого содержится 4 мкг катионов водорода.

2. Водородный показатель для виноградного сусла, приготовленного по шампанскому способу, равен 3,20. Вычислите концентрацию катионов водорода и гидроксид-ионов в таком сусле.

3. Какая масса (г) азотной кислоты содержится в 500 мл раствора этой кислоты, если его pH равен 1,7? Отличием концентрации от активности пренебречь.

4. Вычислите степень диссоциации циановодорода в 1 М растворе циановодородной кислоты и рН этого раствора.

5. Вычислите рН буферного раствора, для приготовления которого к 100 мл 0,5 М раствора аммиака прибавили 50 мл 0,5 М раствора хлороводородной кислоты.

### Вариант 26

1. Вычислите рН лизиметрического раствора орошаемых темно-каштановых почв (глубина 30 см), в 1 л которого содержится 2,14 мкг гидроксид-ионов.

2. В слепой кишке фазана рН равен 4,51, а в мускульном желудке он равен 2,0. В каком отделе пищеварительного тракта фазана концентрация катионов водорода выше и во сколько раз?

3. Вычислите рН 10%-го раствора хлорной кислоты плотностью 1,06 г/мл: а) без учета отличия активности от концентрации; б) с учетом отличия активности от концентрации,  $f_{\pm}(\text{HClO}_4) = 0,823$ . Можно ли в данном случае пренебречь отличием активности от концентрации?

4. Вычислите рОН 1 М раствора гидроксилamina.

5. Вычислите рН буферного раствора, для приготовления которого к 200 мл 6%-го раствора уксусной кислоты плотностью 1,007 г/мл прибавили 200 мл 0,5 М раствора гидроксида натрия.

### Вариант 27

1. Вычислите рН лизиметрического раствора орошаемых темно-каштановых почв (глубина 58 см), концентрация гидроксид-ионов в котором составляет  $6,31 \cdot 10^{-7}$  моль/л.

2. Водородный показатель для виноградного сусла, полученного пропусканием мезги через пресс непрерывного действия, равен 3,35. Вычислите концентрацию катионов водорода и гидроксид-ионов в таком сусле.

3. Какие массы (г) гидроксида натрия и воды нужно взять для приготовления 250 мл раствора этого основания, если его рН равен 11,6? Плотность раствора принять равной 1 г/мл.

4. Вычислите рН 0,01 М раствора азотноватистой кислоты. Диссоциацией по второй ступени пренебречь.

5. Для приготовления 100 мл ацетатного буферного раствора взяли 29,6 мл 10%-го раствора уксусной кислоты плотностью 1,013 г/мл и 4,1 г ацетата натрия. Вычислите рН этого раствора.

**Вариант 28**

1. Вычислите pH томатного сока, в 250 мл которого содержится 0,01 ммоль катионов водорода.

2. Пищеварительный фермент млекопитающих  $\alpha$ -амилаза поджелудочной железы наилучшим образом проявляет свою активность при значениях pH от 6,90 до 7,10. Во сколько раз концентрация катионов водорода, соответствующая наименьшему из этих значений pH, превышает концентрацию катионов водорода, соответствующую наибольшему значению pH?

3. Вычислите pH раствора хлорной кислоты, титр которого равен 0,5 г/мл: а) без учета отличия активности от концентрации; б) с учетом отличия активности от концентрации,  $f_{\pm}(\text{HClO}_4) = 4,76$ . Можно ли в данном случае пренебречь отличием активности от концентрации?

4. Вычислите pH 0,1 М раствора гидразина. Диссоциацией по второй ступени пренебречь.

5. Для приготовления 500 мл ацетатного буферного раствора взяли 19,3 мл 30%-го раствора уксусной кислоты плотностью 1,038 г/мл и 8,2 г ацетата натрия. Вычислите pH этого раствора.

**Вариант 29**

1. Концентрация катионов водорода в водной суспензии сильнощелочных почв может снижаться до  $3,16 \cdot 10^{-10}$  моль/л. Вычислите pH и pOH такой суспензии.

2. Водородный показатель виноградного сока из винограда сорта Чинури в момент отжатия равен 3,10. Вычислите концентрацию катионов водорода и гидроксид-ионов в таком соке.

3. Какая масса (г) гидроксида цезия содержится в 200 мл раствора этого основания, если его pH равен 9? Можно ли в данном случае пренебречь отличием концентрации от активности?

4. Вычислите степень диссоциации селеноводорода в 0,1 М раствора селеноводородной кислоты и pH этого раствора. Диссоциацией по второй ступени пренебречь.

5. Для приготовления 500 мл аммиачного буферного раствора взяли 177,5 мл 10%-го раствора аммиака плотностью 0,958 г/мл и 53,5 г хлорида аммония. Вычислите pH этого раствора.

**Вариант 30**

1. Концентрация катионов водорода в слюне крупного рогатого скота составляет  $7,41 \cdot 10^{-9}$  моль/л. Вычислите рН и рОН такой слюны.

2. Вычислите концентрацию катионов водорода и гидроксид-ионов в вине из винограда сорта Чинури, рН которого равен 2,90.

3. Какая масса (г) хлорной кислоты содержится в 1 л раствора этой кислоты, если его рН равен 2? Отличием концентрации от активности пренебречь.

4. В 93,28 г воды растворили 6,72 мл газообразного аммиака (н.у.). Плотность полученного раствора 0,998 г/мл. Вычислите его рН.

5. Вычислите рН раствора, в 250 мл которого содержится 11,5 г муравьиной кислоты и 58,8 г формиата калия.

## Глава 5

### Гидролиз солей

---

В результате успешного освоения материала этой главы студент должен:

- **знать:** типы гидролиза;
- **уметь:** записывать уравнения реакций гидролиза, рассчитывать константы гидролиза;
- **владеть:** представлениями о влиянии концентрации и природы соли, а также температуры раствора на степень гидролиза.

**Изучите:** параграф 8.7 гл. 8 учебника.  
**Повторите:** параграф 8.2 гл. 8 учебника.

---

#### 5.1. Вопросы для подготовки к коллоквиуму

1. Что такое гидролиз солей?
2. Соли каких типов подвергаются гидролизу? Приведите примеры.
3. Какие формы записи уравнений реакций гидролиза вам известны? Чем они различаются?
4. Какая форма записи уравнений реакций гидролиза самая наглядная? Что она показывает?
5. Что такое степень гидролиза? От чего она зависит?
6. Что такое константа гидролиза? Чем она отличается от обычной константы равновесия?
7. Как связаны между собой константа и степень гидролиза?
8. Гидролиз каких солей протекает в несколько ступеней? Какая ступень гидролиза преобладает?
9. В каких случаях гидролиз происходит необратимо?

#### 5.2. Примеры решения задач

Решение каждой из задач этой главы надо начинать с написания уравнения реакции гидролиза соли, о которой идет речь в условии. Уравнение следует писать в сокращенной ионной форме, отличающейся наибольшей информативностью

и наглядностью. В условиях задач чаще всего приведены названия солей, а не их химические формулы. Если по названию соли вы не можете определить ее состав, следует воспользоваться предметным указателем, который находится на последних страницах учебника. В этом указателе в алфавитном порядке приведены названия всех важнейших веществ, упомянутых в учебнике, в том числе и солей. После названия вещества указаны номера страниц, на которых оно упомянуто. Найдя в предметном указателе название соли, вы можете на соответствующих страницах найти формулу этой соли и определить, какой кислотой и каким основанием эта соль образована.

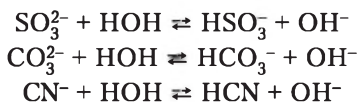
### Задачи на определение типа гидролиза

Для решения таких задач нужно помнить, что растворы солей, гидролизующихся по катиону, имеют кислую реакцию, а растворы солей, гидролизующихся по аниону, имеют щелочную реакцию.

#### Пример 5.1.

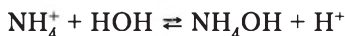
**Задача.** Напишите химическую формулу той из названных ниже солей, в водном растворе которой фенолфталеин бесцветен: сульфит натрия, хлорид аммония, карбонат калия, цианид калия.

**Решение.** В условиях задачи речь идет о четырех солях: сульфите натрия  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ , хлориде аммония  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , карбонате калия  $\text{K}_2\text{CO}_3$  и цианиде калия  $\text{KCN}$ . Три соли:  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$  и  $\text{KCN}$  образованы слабыми кислотами и сильными основаниями. Они подвергаются гидролизу по аниону. Соответствующие уравнения реакций в сокращенной ионной форме свидетельствуют, что в результате гидролиза в растворах этих солей появляются гидроксид-ионы:



Следовательно, их растворы имеют щелочную реакцию. Кислотно-основный индикатор фенолфталеин в щелочной среде окрашивается в малиновый цвет.

Только одна из названных в условиях задачи солей — хлорид аммония — гидролизуеться по катиону в соответствии с уравнением

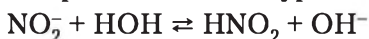


из которого очевидно, что в растворе появляются катионы водорода и он имеет кислую реакцию. В кислой среде фенолфталеин бесцветен.

**Ответ.**  $\text{NH}_4\text{Cl}$ .

### Задачи на расчет констант гидролиза

Константы гидролиза, как и константы диссоциации, — частный случай констант равновесия. Константа гидролиза отличается от константы равновесия для реакции гидролиза отсутствием в знаменателе дроби активности или равновесной концентрации воды. Например, для реакции гидролиза нитрита натрия, которая описывается уравнением



эти константы имеют следующий вид:

константа равновесия

константа гидролиза

$$K = \frac{[\text{HNO}_2][\text{OH}^-]}{[\text{NO}_2^-][\text{H}_2\text{O}]}$$

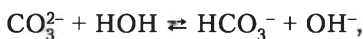
$$K_r = \frac{[\text{HNO}_2][\text{OH}^-]}{[\text{NO}_2^-]}$$

В отличие от констант диссоциации константы гидролиза не приводят в таблицах. Их нужно рассчитывать, используя приведенные в прил. 3 и 4 числовые значения констант диссоциации и ионного произведения воды.

#### Пример 5.2.

**Задача.** Вычислите константу гидролиза карбоната натрия по первой ступени.

**Решение.** Карбонат натрия — соль, образованная слабой двухосновной угольной кислотой  $\text{H}_2\text{CO}_3$  и сильным основанием — гидроксидом натрия  $\text{NaOH}$ , она подвергается гидролизу по аниону. Первая ступень гидролиза карбоната натрия описывается уравнением



из которого очевидно, что продуктом реакции является гидрокарбонат-ион  $\text{HCO}_3^-$ . Именно для него нужно найти в прил. 3 числовое значение константы диссоциации. Однако в таблицах приведены константы диссоциации не ионов, а слабых кислот или слабых оснований. Чтобы определить константу диссоциации гидрокарбонат-иона, нужно найти в прил. 3 соответствующую константу диссоциации угольной кислоты. Эта кислота двухосновная и диссоциирует в две ступени.

Первая ступень диссоциации заключается в отщеплении одного катиона водорода и образовании гидрокарбонат-иона:



В соответствии с законом действующих масс константу диссоциации для этой ступени можно записать следующим образом:

$$K_1 = \frac{[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]}.$$

Ее числовое значение равно  $4,45 \cdot 10^{-7}$ .

Диссоциацию гидрокарбонат-иона описывает константа диссоциации угольной кислоты по второй ступени:



Ее можно записать следующим образом:

$$K_2 = \frac{[\text{H}^+][\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{HCO}_3^-]}.$$

Числовое значение этой константы составляет  $4,69 \cdot 10^{-11}$ . Его и нужно использовать для расчета константы гидролиза карбоната натрия по первой ступени:

$$K_r = \frac{K_w}{K_2} = \frac{10^{-14}}{4,69 \cdot 10^{-11}} = 2,13 \cdot 10^{-4}.$$

*Ответ.*  $2,13 \cdot 10^{-4}$ .

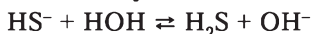
### Задачи на расчет степени гидролиза

Степень гидролиза зависит от природы соли, от концентрации и температуры раствора. Если степень гидролиза невелика, то ее можно вычислить по приближенным формулам, приведенным в табл. 8.5 учебника.

#### Пример 5.3.

**Задача.** Вычислите степень гидролиза (%) гидросульфида натрия в 0,1 М растворе.

**Решение.** Гидросульфид натрия — соль, образованная слабой сероводородной кислотой и сильным основанием — гидроксидом натрия. Гидролиз идет по аниону:



В результате реакции образуется сероводородная кислота, поэтому для расчета нужно использовать константу диссоциации этой кислоты по первой ступени.

Уравнение для вычисления степени гидролиза соли, образованной слабой кислотой и сильным основанием, имеет следующий вид:

$$h = \sqrt{\frac{K_w}{K_{\text{кисл}} \cdot c_{\text{соли}}}}.$$

При подстановке в него числовых значений нужно обязательно обратить внимание на способ выражения состава раствора. Для расчета следует брать только молярную концентрацию соли в растворе. Если состав раствора в условиях задачи задан по-другому, то нужно произвести пересчет в молярную концентрацию.

Подставляя числовые значения и производя вычисления, получаем



$$h = \sqrt{\frac{10^{-14}}{1,0 \cdot 10^{-7} \cdot 10^{-1}}} = \sqrt{10^{-6}} = 10^{-3} \cdot 100\% = 0,1\%.$$

Вычисленное числовое значение степени гидролиза существенно меньше единицы, поэтому его вполне можно использовать для оценки этой характеристики гидролиза.

*Ответ.* 0,1%.

#### Пример 5.4.

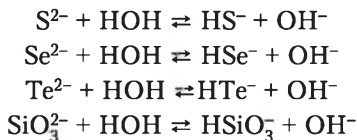
**Задача.** Напишите химическую формулу той из названных ниже солей натрия, которая подвергается гидролизу в большей степени: сульфид, селенид, теллурид или метасиликат. Молярные концентрации растворов одинаковы.

**Решение.** Все названные в условиях задачи соли образованы сильным основанием — гидроксидом натрия и слабыми кислотами: сульфид натрия  $\text{Na}_2\text{S}$  — сероводородной, селенид натрия  $\text{Na}_2\text{Se}$  — селеноводородной, теллурид натрия  $\text{Na}_2\text{Te}$  — теллуrowодородной, метасиликат натрия  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  — метакремниевой кислотой. Уравнение для расчета степени гидролиза таких солей имеет вид

$$h = \sqrt{\frac{K_w}{K_{\text{кисл}} \cdot c_{\text{соли}}}}.$$

Две величины в этом уравнении не зависят от природы соли и имеют равные числовые значения: ионное произведение воды  $K_w$  и концентрация соли  $c_{\text{соли}}$ .

Константы диссоциации слабых кислот находятся в знаменателе дроби, поэтому, чем меньше числовое значение  $K_{\text{кисл}}$ , тем больше степень гидролиза соли. Все слабые кислоты, анионы которых входят в состав рассматриваемых в данной задаче солей, двухосновные. Поэтому соли гидролизуются в две ступени. Так как первая ступень гидролиза преобладает, следует сравнивать степени гидролиза этих солей именно по первой ступени, пренебрегая второй ступенью гидролиза. Уравнения реакций гидролиза для названных в условиях задачи солей выглядят следующим образом:



Из этих уравнений очевидно, что в результате гидролиза образуются гидросульфид-, гидроселенид-, гидротеллурид- и гидросиликат-ионы, константы диссоциации которых — это константы диссоциации соответствующих слабых кислот по второй ступени. Именно эти константы и нужно сравнивать, не производя расчета, чтобы определить, какая соль гидролизует

в большей степени. Числовые значения соответствующих констант диссоциации можно найти в прил. 3:

для сероводородной кислоты	$K(\text{II}) = 1 \cdot 10^{-14}$ ;
для селеноводородной кислоты	$K(\text{II}) = 1 \cdot 10^{-11}$ ;
для теллуководородной кислоты	$K(\text{II}) = 1 \cdot 10^{-11}$ ;
для метакремниевой кислоты	$K(\text{II}) = 1,6 \cdot 10^{-12}$ .

Очевидно, что наименьшее числовое значение имеет константа диссоциации по второй ступени для сероводородной кислоты. Поэтому в наибольшей степени гидролизу будет подвергаться соль этой кислоты — сульфид натрия.

Ответ.  $\text{Na}_2\text{S}$ .

### Задачи на определение pH растворов гидролизующихся солей

Уравнения для расчета pH растворов гидролизующихся солей приведены в табл. 8.5 учебника. Однако нужно иметь в виду, что эти уравнения можно использовать для расчета pH не очень сильно разбавленных растворов (не менее 0,1 моль/л). Если произведение концентрации раствора и соответствующей константы диссоциации меньше ионного произведения воды, то на величину pH оказывает влияние диссоциация воды. В этих случаях для расчета применяют более сложные уравнения, рассмотрение которых выходит за рамки данного руководства.

При расчетах следует также принимать во внимание, что уравнения из табл. 8.5 учебника справедливы только для температуры 22°C, так как первое слагаемое — цифра 7 в этих уравнениях — рассчитано как  $-\frac{1}{2} \lg K_w = -\frac{1}{2} \lg 10^{-14} = 7$  (см. уравнение (8.40) учебника).

Ионное произведение воды  $K_w$  принимает значение  $10^{-14}$  только при температуре 22°C. При других температурах  $K_w$  имеет другие числовые значения (см. прил. 4). Следовательно, при температурах, не равных 22°C, первое слагаемое в уравнениях для расчета pH растворов гидролизующихся солей будет отличаться от 7.

#### Пример 5.5.

**Задача.** Вычислите pH 0,1 М раствора сульфита натрия при температуре 40°C.

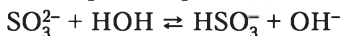
**Решение.**

$$c(\text{Na}_2\text{SO}_3) = 0,1 \text{ моль/л}$$

$$\text{pH} = ?$$

Решение задачи начинаем с написания уравнения реакции гидролиза в сокращенной ионной форме.

Соль образована слабой сернистой кислотой и сильным основанием — гидроксидом натрия, гидролиз идет по аниону:



В результате гидролиза образуется гидросульфит-ион, константу диссоциации которого можно найти в прил. 3 как константу диссоциации сернистой кислоты по второй ступени. Следует также обратить внимание на то, что раствор в результате гидролиза имеет щелочную реакцию ( $\text{pH} > 7$ ), о чем свидетельствуют гидроксид-ионы  $\text{OH}^-$  в правой части уравнения. Это поможет оценить правильность результатов расчета.

Числовое значение водородного показателя для раствора соли слабой кислоты и сильного основания при температуре, отличной от  $22^\circ\text{C}$ , рассчитываем по уравнению

$$\begin{aligned} \text{pH} &= -\frac{1}{2} \lg K_w - \frac{1}{2} \lg K_{\text{кисл}} + \frac{1}{2} \lg c_{\text{соли}} = \\ &= -\frac{1}{2} \lg (2,918 \cdot 10^{-14}) - \frac{1}{2} \lg 1,02 \cdot 10^{-7} + \frac{1}{2} \lg 10^{-1} = \\ &= 6,77 + 4,00 - 0,5 = 10,27. \end{aligned}$$

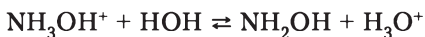
Ответ.  $\text{pH} = 10,27$ .

В некоторых задачах вообще не нужно проводить никаких расчетов, потому что реакцию среды раствора (кислая, нейтральная или щелочная) можно оценить по числовым значениям констант диссоциации образующихся в результате гидролиза слабых кислот и оснований. Если  $K_{\text{кисл}}$  больше, чем  $K_{\text{осн}}$ , то среда кислая. Если  $K_{\text{осн}}$  больше, чем  $K_{\text{кисл}}$ , то среда щелочная. Если обе константы равны, то среда нейтральная.

### Пример 5.6.

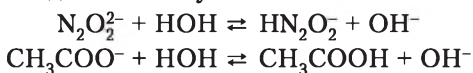
**Задача.** Напишите химическую формулу той из названных ниже солей, водный раствор которой имеет нейтральную реакцию: хлорид гидроксиламиния, гипонитрит калия, ацетат калия, ацетат аммония.

**Решение.** Хлорид гидроксиламиния  $\text{NH}_3\text{ONHCl}$  — соль, образованная слабым основанием и сильной кислотой. Гидролиз идет по катиону:



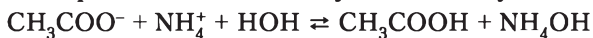
среда кислая, о чем говорят катионы оксония в правой части уравнения.

Гипонитрит калия  $\text{K}_2\text{N}_2\text{O}_2$  и ацетат калия  $\text{CH}_3\text{COOK}$  — соли, образованные слабыми кислотами и сильным основанием. Гидролиз обеих солей идет по аниону:



В правых частях обоих уравнений присутствуют гидроксид-ионы, что говорит о щелочной реакции среды.

Наконец, ацетат аммония — соль слабой кислоты и слабого основания. Гидролиз идет и по аниону, и по катиону:



Причем константы диссоциации слабой кислоты  $K_{\text{кисл}} = 1,75 \cdot 10^{-5}$  и слабого основания  $K_{\text{осн}} = 1,75 \cdot 10^{-5}$  не различаются своими числовыми значениями. Поэтому реакция среды в растворе ацетата аммония практически нейтральная.

*Ответ.*  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ .

### 5.3. Индивидуальные задания

#### Вариант 1

1. Диоксид серы объемом 11,2 л (н.у.) вступил в реакцию с 40 г гидроксида натрия, растворенного в воде. Напишите химическую формулу образовавшейся соли. По какому иону (катиону или аниону) протекает гидролиз этой соли?

2. Напишите химическую формулу той из названных ниже солей калия, которая гидролизруется в наибольшей степени: карбонат, гидрокарбонат, цианид, хлорид.

3. Напишите в сокращенной ионной форме уравнение реакции гидролиза ортофосфата натрия по первой ступени и вычислите константу гидролиза этой соли по первой ступени.

4. Напишите в молекулярной форме уравнение реакции гидролиза хлорида железа(III) и вычислите степень гидролиза этой соли по первой ступени в 0,2 М растворе.

5. Вычислите pH раствора, в 400 мл которого содержится 3,28 г ацетата натрия, при температуре 50°C.

#### Вариант 2

1. При сливании 100 мл 0,02 М раствора ортофосфорной кислоты и 50 мл 0,04 М раствора гидроксида калия получен раствор соли. Напишите химическую формулу этой соли. По какому иону (катиону или аниону) протекает гидролиз этой соли?

2. Напишите химическую формулу той из названных ниже солей натрия, которая гидролизруется в наименьшей степени: селенид, гидроселенид, теллурид, гидротеллурид.

3. Напишите в сокращенной ионной форме уравнение реакции гидролиза тиоцианата аммония и вычислите константу гидролиза этой соли.

4. Образуется ли сульфид алюминия при сливании водных растворов нитрата алюминия и сульфида калия? Напишите химические формулы образующихся осадка и газа.

5. Вычислите pH 0,2 М раствора хлорида алюминия при температуре 22°C.

### Вариант 3

1. При растворении 44,8 л газообразного аммиака (н.у.) в соляной кислоте, содержащей 73 г хлороводорода, получен раствор соли. Напишите химическую формулу этой соли. По какому иону (катиону или аниону) протекает гидролиз этой соли?

2. В растворе какой из названных ниже солей фенолфталеин окрашивается в розовый цвет: хлорид натрия, сульфат аммония, сульфат алюминия, цианид натрия?

3. Напишите в сокращенной ионной форме уравнение реакции гидролиза хлорида цинка по первой ступени и вычислите константу гидролиза этой соли.

4. Напишите в молекулярной форме уравнение реакции гидролиза нитрита натрия и вычислите степень гидролиза этой соли в 0,2 М растворе.

5. Вычислите pH 0,1 н. раствора нитрата аммония при температуре 40°C.

### Вариант 4

1. При растворении 4,48 л диоксида углерода (н.у.) в растворе, содержащем 22,4 г гидроксида калия, получен раствор соли. Напишите химическую формулу этой соли. Вычислите степень ее гидролиза в полученном растворе, если его объем равен 1 л.

2. Напишите химическую формулу той из названных ниже солей, водный раствор которой имеет практически нейтральную реакцию: ацетат калия, гидрокарбонат калия, гипохлорит натрия, ацетат аммония.

3. Напишите в сокращенной ионной форме уравнение реакции гидролиза гидрофосфата натрия и вычислите константу гидролиза этой соли.

4. Напишите в сокращенной ионной форме уравнение гидролиза хлорида никеля по первой ступени и вычислите степень гидролиза этой соли в 0,1 М растворе.

5. Вычислите pH 0,2 М раствора хлорида аммония при температуре 22°C.

**Вариант 5**

1. Газообразный сероводород объемом 2,24 л (н.у.) вступил в реакцию с 4 г гидроксида натрия, растворенного в воде. Напишите химическую формулу соли, образовавшейся в растворе. По какому иону (катиону или аниону) протекает гидролиз этой соли?

2. Напишите химическую формулу той из названных ниже солей, в растворе которой метиловый оранжевый окрашивается в желтый цвет: хлорид бария, перхлорат калия, карбонат натрия, сульфат цинка.

3. Напишите в ионной форме уравнение реакции гидролиза ацетата аммония и вычислите константу гидролиза этой соли.

4. Напишите в молекулярной форме уравнение реакции гидролиза цианида калия и вычислите степень гидролиза этой соли в 0,2 М растворе.

5. Каково при температуре 22°C значение pH раствора, полученного из 0,2 г нитрата аммония и 250 мл воды? Плотность раствора принять равной 1 г/мл.

**Вариант 6**

1. При взаимодействии хлора с гидроксидом кальция образуются две соли. Напишите химическую формулу и название той из них, которая подвергается гидролизу по аниону.

2. Напишите химическую формулу той из названных ниже солей железа(III), которая подвергается необратимому гидролизу: нитрат, сульфат, карбонат, хлорид.

3. Напишите в сокращенной ионной форме уравнение реакции гидролиза нитрата свинца(II) и вычислите константу гидролиза этой соли по первой ступени.

4. Вычислите степень гидролиза хлорида аммония в растворе, в 500 мл которого содержится 5,35 г этой соли.

5. Вычислите pH 0,2 М раствора гипохлорита калия при температуре 30°C.

**Вариант 7**

1. Напишите химическую формулу и название соли, образующейся при растворении 21,4 г гидроксида железа(III) в 358,3 мл 10%-го раствора азотной кислоты плотностью 1,055 г/мл. По какому иону (катиону или аниону) протекает гидролиз этой соли?

2. Напишите химическую формулу той из названных ниже солей, в растворе которой фенолфталеин окрашивается

в розовый цвет: хлорид калия, гидрофосфат натрия, перхлорат калия, хлорид цинка.

3. Напишите в сокращенной ионной форме уравнение реакции гидролиза дигидрофосфата натрия и вычислите константу гидролиза этой соли.

4. Напишите в молекулярной форме уравнение реакции гидролиза нитрата хрома(III) и вычислите степень гидролиза в 0,2 М растворе этой соли.

5. Вычислите pH 0,1 М раствора цианида аммония при температуре 22°C.

### Вариант 8

1. Напишите химическую формулу и название соли, образующейся при растворении 20 г гидроксида цинка в 239 мл 10%-го раствора азотной кислоты плотностью 1,055 г/мл. По какому иону (катиону или аниону) протекает гидролиз этой соли?

2. Раствор какой из названных ниже солей: хлорид натрия, сульфат алюминия, сульфит калия, ацетат аммония — окрашивает лакмус в синий цвет? Напишите ее химическую формулу.

3. Напишите в сокращенной ионной форме уравнение реакции гидролиза гидрокарбоната аммония и вычислите константу гидролиза этой соли.

4. Вычислите степень гидролиза нитрата свинца(II), если его титр в растворе равен 0,0033 г/мл.

5. Рассчитайте pH раствора, полученного при смешении 10 мл 0,3 н. азотной кислоты и 30 мл 0,1 н. гидроксида аммония, при температуре 22°C.

### Вариант 9

1. Напишите химическую формулу и название соли, образующейся при смешении 50 мл 1 М раствора гидроксиламина и 36 мл 5%-го раствора хлороводородной кислоты плотностью 1,023 г/мл. По какому иону (катиону или аниону) протекает гидролиз этой соли?

2. Напишите в ионной форме уравнение реакции гидролиза той из названных ниже солей, которая гидролизруется и по катиону, и по аниону: сульфат цинка, ацетат аммония, ацетат натрия, нитрат железа(III).

3. Напишите в сокращенной ионной форме уравнение реакции гидролиза нитрата хрома(III) и вычислите константу гидролиза этой соли по первой ступени.

4. Напишите в молекулярной форме уравнение реакции гидролиза хлорида железа(III) и вычислите степень гидролиза этой соли в 0,1 М растворе.

5. Вычислите pH раствора, полученного при растворении 5,3 г хлорида аммония в 500 мл воды, при температуре 22°C. Плотность раствора принять равной 1 г/мл.

### Вариант 10

1. Напишите химическую формулу соли, которая образуется при смешении 100 мл 2 М раствора гидроксида натрия и 200 мл 1 М раствора азотной кислоты. Подвергается ли эта соль гидролизу?

2. Напишите химическую формулу той из названных ниже солей аммония, которая гидролизуется в наибольшей степени: хлорид, сульфат, нитрит, нитрат.

3. Напишите в сокращенной ионной форме уравнение реакции гидролиза гидрокарбоната натрия и вычислите константу гидролиза этой соли.

4. Вычислите степень гидролиза бромид аммония в 0,1 М растворе.

5. Вычислите pH раствора, полученного растворением 13,4 г хлорида алюминия в 0,5 л воды, при температуре 22°C. Плотность раствора 1,0032 г/мл, температура 22°C.

### Вариант 11

1. Диоксид серы объемом 2,24 л (н.у.) вступил в реакцию со 100 мл 1 М раствора гидроксида калия. Напишите химическую формулу образовавшейся соли. По какому иону (катиону или аниону) протекает гидролиз этой соли?

2. Напишите химическую формулу той из названных ниже солей, которая гидролизуется в наименьшей степени: сульфид аммония, нитрат аммония, тиоцианат калия, ацетат калия.

3. Напишите в сокращенной ионной форме уравнение реакции гидролиза карбоната аммония и вычислите константу гидролиза этой соли по первой ступени.

4. Напишите в молекулярной форме уравнение реакции гидролиза гидрокарбоната калия и вычислите степень гидролиза в 0,05 М растворе этой соли.

5. Вычислите pH 0,1 М раствора хлорида железа(III) при температуре 60°C.

### Вариант 12

1. При добавлении 93 мл 10%-го раствора ортофосфорной кислоты плотностью 1,053 г/мл к 1 л 0,1 н. раствора



гидроксида натрия получен раствор соли. Напишите химическую формулу этой соли. По какому иону (катиону или аниону) протекает ее гидролиз?

2. Напишите в молекулярной форме уравнение реакции гидролиза той из перечисленных солей алюминия, которая подвергается необратимому гидролизу: хлорид, сульфат, сульфид, нитрат.

3. Напишите в сокращенной ионной форме уравнение реакции гидролиза хлорида железа(II) и вычислите константу гидролиза этой соли.

4. Рассчитайте степень гидролиза хлорида магния в растворе, титр которого равен 0,0095 г/мл.

5. Вычислите pH 0,2 М раствора цианида калия при температуре 22°C.

### Вариант 13

1. При растворении 11,2 л газообразного аммиака (н.у.) в 250 мл 2 н. раствора азотной кислоты получен раствор соли. Напишите химическую формулу этой соли. По какому иону (катиону или аниону) протекает гидролиз этой соли?

2. В растворе какой из названных ниже солей лакмус приобретает красный цвет: перхлорат калия, сульфат алюминия, ацетат натрия, карбонат калия? Напишите химическую формулу этой соли.

3. Напишите в сокращенной ионной форме уравнение реакции гидролиза карбоната натрия и вычислите константу гидролиза этой соли.

4. Напишите в молекулярной форме уравнение реакции гидролиза метаарсенита натрия и вычислите степень гидролиза в 0,1 М растворе этой соли.

5. Вычислите pH 0,2 М раствора формиата аммония при температуре 22°C.

### Вариант 14

1. При взаимодействии 33,6 л диоксида углерода (н.у.) с 246 мл 20%-го раствора гидроксида натрия плотностью 1,22 г/мл получен раствор соли. Напишите химическую формулу этой соли. По какому иону (катиону или аниону) протекает гидролиз этой соли?

2. Напишите химическую формулу той из названных ниже солей натрия, которая не подвергается гидролизу: гипохлорит, фторид, перхлорат, ацетат.

3. Напишите в сокращенной ионной форме уравнение реакции гидролиза гидрофосфата аммония и вычислите константу гидролиза этой соли.

4. Рассчитайте степень гидролиза метасиликата натрия в 0,2 М растворе.

5. Вычислите рН раствора, полученного при растворении 5,3 г безводного карбоната натрия в 0,2 л воды, при температуре 22°C (плотность раствора 1,01 г/мл).

### Вариант 15

1. Газообразный сероводород объемом 4,48 л (н.у.) вступил в реакцию с 65,6 мл 20%-го раствора гидроксида натрия плотностью 1,22 г/мл. Напишите химическую формулу соли, образовавшейся в растворе. По какому иону (катиону или аниону) протекает гидролиз этой соли?

2. Напишите в сокращенной ионной форме уравнение реакции гидролиза хлорида железа(III) и вычислите константу гидролиза этой соли по первой ступени.

3. Напишите химическую формулу той из названных ниже солей аммония, которая гидролизруется в наибольшей степени: фторид, хлорид, бромид, иодид.

4. Напишите в молекулярной форме уравнение реакции гидролиза нитрита калия и вычислите степень гидролиза в 0,1 М растворе этой соли.

5. Вычислите рН 0,2 М раствора цианида калия при температуре 22°C.

### Вариант 16

1. Напишите химическую формулу и название соли, образующейся при растворении 10,7 г гидроксида железа(III) в 104,5 мл 10%-го раствора соляной кислоты плотностью 1,048 г/мл. По какому иону (катиону или аниону) протекает гидролиз этой соли?

2. Напишите химическую формулу той из названных ниже солей, в растворе которой фенолфталеин окрашивается в розовый цвет: хлорид бария, хлорид лития, хлорид цинка, гипохлорит натрия.

3. Напишите в сокращенной ионной форме уравнение реакции гидролиза гидрогипонитрита натрия и вычислите константу гидролиза этой соли.

4. Рассчитайте степень гидролиза тиоцианата аммония в водном растворе.

5. Вычислите рН 1%-го раствора нитрата аммония плотностью 1,002 г/мл при температуре 22°C.

**Вариант 17**

1. Напишите химическую формулу и название соли, образующейся при растворении 21,4 г гидроксида железа(III) в 358,3 мл 10%-го раствора азотной кислоты плотностью 1,055 г/мл. По какому иону (катиону или аниону) протекает гидролиз этой соли?

2. Напишите химическую формулу той из названных ниже солей калия, которая подвергается гидролизу в наименьшей степени: тиосульфат, сульфит, гидросульфит, сульфид.

3. Напишите в сокращенной ионной форме уравнение реакции гидролиза дигидрофосфата аммония и вычислите константу гидролиза этой соли.

4. Рассчитайте степень гидролиза нитрата цинка в растворе, титр которого равен 0,0189 г/мл.

5. Вычислите pH 0,1 М раствора хлорида алюминия при температуре 60°C.

**Вариант 18**

1. Напишите химическую формулу и название соли, образующейся при растворении 9,9 г гидроксида цинка в 119,5 мл 10%-го раствора азотной кислоты плотностью 1,055 г/мл. По какому иону (катиону или аниону) протекает гидролиз этой соли?

2. Напишите в молекулярной форме уравнение реакции гидролиза той из названных ниже солей железа(III), которая подвергается необратимому гидролизу: хлорид, тиоцианат, сульфид, сульфат.

3. Напишите в сокращенной ионной форме уравнение реакции гидролиза нитрата алюминия и вычислите константу гидролиза этой соли по первой ступени.

4. Рассчитайте степень гидролиза фторида аммония в 0,1 М водном растворе.

5. Вычислите pH раствора, в 0,5 л которого содержится 13,8 г карбоната калия, при температуре 22°C.

**Вариант 19**

1. Напишите химическую формулу и название соли, образующейся при смешении 100 мл 1 М раствора гидразина и 73,4 мл 5%-го раствора хлороводородной кислоты плотностью 1,023 г/мл. По какому иону (катиону или аниону) протекает гидролиз этой соли?

2. Напишите в сокращенной ионной форме уравнение реакции гидролиза той из названных ниже солей аммония,

водный раствор которой имеет практически нейтральную реакцию: нитрат, ацетат, цианид, тиоцианат.

3. Напишите в сокращенной ионной форме уравнение реакции гидролиза гипонитрита натрия и вычислите константу гидролиза этой соли по первой ступени.

4. Рассчитайте степень гидролиза нитрата никеля в растворе, титр которого равен 0,183 г/мл.

5. Вычислите pH 0,1 М раствора гидрокарбоната аммония при температуре 22°C.

### Вариант 20

1. Напишите химическую формулу и название соли, которая образуется при смешении 16,4 мл 20%-го раствора гидроксида натрия плотностью 1,22 г/мл и 44,55 мл 20%-го раствора хлорной кислоты плотностью 1,128 г/мл. Подвергается ли эта соль гидролизу?

2. Напишите химическую формулу той из названных ниже солей, которая подвергается гидролизу по катиону: тиосульфат натрия, хлорид бария, нитрат меди(II), сульфит калия.

3. Напишите в сокращенной ионной форме уравнение реакции гидролиза ацетата свинца и вычислите константу гидролиза этой соли по первой ступени.

4. Напишите в молекулярной форме уравнение реакции гидролиза нитрата железа(III) и рассчитайте степень гидролиза этой соли в 0,1 М растворе.

5. Вычислите pH раствора, 1 л которого содержит 6,6 г хлорида алюминия, при температуре 22°C.

### Вариант 21

1. Диоксид серы объемом 4,48 л (н.у.) вступил в реакцию с 32,8 мл 20%-го раствора гидроксида натрия плотностью 1,22 г/мл. Напишите химическую формулу образовавшейся соли. По какому иону (катиону или аниону) протекает гидролиз этой соли?

2. Напишите в молекулярной форме уравнение гидролиза той из перечисленных ниже солей, которая подвергается необратимому гидролизу: сульфит калия, сульфат меди(II), сульфид железа(III), сульфид натрия.

3. Напишите в сокращенной ионной форме уравнение реакции гидролиза нитрата аммония и вычислите константу гидролиза этой соли.

4. Напишите в молекулярной форме уравнение реакции гидролиза селенида натрия по первой ступени и рассчитайте степень гидролиза этой соли в 0,1 М растворе.

5. Вычислите рН раствора цианида калия, титр которого равен 0,0065 г/мл, при температуре 22°C.

### Вариант 22

1. При добавлении 95,61 мл 5%-го раствора ортофосфорной кислоты плотностью 1,025 г/мл к 0,5 л 0,2 М раствора гидроксида калия получен раствор соли. Напишите химическую формулу этой соли. По какому иону (катиону или аниону) протекает гидролиз этой соли?

2. Напишите химическую формулу той из названных ниже солей аммония, в растворе которой  $\text{pH} > 7$ : хлорид, ацетат, нитрат, цианид.

3. Напишите в сокращенной ионной форме уравнение реакции гидролиза гипофосфита натрия и вычислите константу гидролиза этой соли.

4. Напишите в молекулярной форме уравнение реакции гидролиза хлорида меди(II) по первой ступени и рассчитайте степень гидролиза этой соли в 0,2 М растворе.

5. Вычислите рН раствора, полученного при смешении 40 мл 0,1 н. раствора уксусной кислоты и 20 мл 0,2 н. раствора гидроксида натрия, при температуре 22°C.

### Вариант 23

1. При растворении 5,6 л газообразного аммиака (н.у.) в 56,7 мл 15%-го раствора хлороводородной кислоты плотностью 1,073 г/мл получен раствор соли. Напишите химическую формулу этой соли. По какому иону (катиону или аниону) протекает гидролиз этой соли?

2. Раствор какой из названных ниже солей окрашивает фенолфталеин в розовый цвет: гипохлорит натрия, сульфат алюминия, ацетат аммония, хлорид калия?

3. Напишите в сокращенной ионной форме уравнение реакции гидролиза сульфида аммония и вычислите константу гидролиза этой соли.

4. Напишите в молекулярной форме уравнение реакции гидролиза нитрата магния и вычислите степень гидролиза этой соли в растворе, титр которого равен 0,0148 г/мл.

5. Вычислите рН 0,1 М раствора иодида аммония при температуре 50°C.

### Вариант 24

1. При взаимодействии 16,8 л диоксида углерода (н.у.) с 1,5 л 1 н. раствора гидроксида натрия получен раствор соли. Напишите химическую формулу этой соли. По какому иону (катиону или аниону) протекает гидролиз этой соли?

2. Напишите химическую формулу той из названных ниже солей натрия, раствор которой имеет  $\text{pH} > 7$ : фторид, хлорид, бромид, иодид.

3. Напишите в сокращенной ионной форме уравнение реакции гидролиза нитрата железа(III) и вычислите константу гидролиза этой соли.

4. Рассчитайте степень гидролиза хлорида аммония в 0,2 М растворе.

5. Вычислите  $\text{pH}$  раствора, в 250 мл которого содержится 4,9 г цианида натрия, при температуре 22°C.

### Вариант 25

1. Газообразный сероводород объемом 6,72 л (н.у.) вступил в реакцию с 0,5 л раствора гидроксида натрия, титр которого равен 0,024 г/мл. Напишите химическую формулу соли, образовавшейся в растворе. По какому иону (катиону или аниону) протекает гидролиз этой соли?

2. Напишите химическую формулу той из названных ниже солей, которая не подвергается гидролизу: фторид натрия, сульфат меди(II), хлорид натрия, хлорид аммония.

3. Напишите в сокращенной ионной форме уравнение реакции гидролиза фосфита натрия и вычислите константу гидролиза этой соли по первой ступени.

4. Напишите в молекулярной форме уравнение реакции гидролиза нитрата меди(II) и вычислите степень гидролиза этой соли в 0,2 М растворе.

5. Вычислите  $\text{pH}$  0,1 М раствора гипохлорита калия при температуре 22°C.

### Вариант 26

1. При взаимодействии диоксида азота с раствором гидроксида натрия образуются две соли. Напишите химическую формулу той из них, которая подвергается гидролизу. По какому иону (катиону или аниону) протекает гидролиз этой соли?

2. Напишите химическую формулу той из названных ниже солей аммония, которая гидролизуется в наибольшей степени: хлорит, сульфит, цианид, ацетат.

3. Напишите в сокращенной ионной форме уравнение реакции гидролиза сульфата хрома(III) и вычислите константу гидролиза этой соли.

4. Рассчитайте степень гидролиза нитрата марганца в 0,1 М растворе.

5. Вычислите pH раствора, полученного при смешении 30 мл 0,1 н. раствора хлороводородной кислоты и 10 мл 0,3 н. раствора гидроксида аммония, при температуре 22°C.

### Вариант 27

1. Напишите химическую формулу и название соли, образующейся при растворении 18 г гидроксида железа(II) в 238,9 мл 10%-го раствора азотной кислоты плотностью 1,055 г/мл. По какому иону (катиону или аниону) протекает гидролиз этой соли?

2. Водный раствор какой из названных ниже солей подвергается гидролизу в наибольшей степени: тиосульфат натрия, хлорид калия, сульфат цинка, ацетат аммония? Напишите ее химическую формулу.

3. Напишите в сокращенной ионной форме уравнение реакции гидролиза гидросульфида аммония и вычислите константу гидролиза этой соли.

4. Напишите в молекулярной форме уравнение реакции гидролиза той из перечисленных ниже солей, которая подвергается необратимому гидролизу: хлорид железа(III), сульфат цинка, карбонат алюминия, сульфид натрия.

5. Вычислите pH раствора нитрита калия, титр которого равен 0,0085 г/мл, при температуре 22°C.

### Вариант 28

1. Напишите химическую формулу и название соли, образующейся при растворении 9,9 г гидроксида цинка в 69,7 мл 10%-го раствора хлороводородной кислоты плотностью 1,048 г/мл. По какому иону (катиону или аниону) протекает гидролиз этой соли?

2. Напишите химическую формулу той из названных ниже солей, раствор которой имеет  $\text{pH} > 7$ : бромид натрия, хлорид меди (II), сульфит натрия, иодид аммония.

3. Напишите в сокращенной ионной форме уравнение реакции гидролиза гидрофосфита натрия и вычислите константу гидролиза этой соли.

4. Рассчитайте степень гидролиза хлорида алюминия в 0,1 М растворе при температуре 30°C.

5. Вычислите pH 0,1 М раствора карбоната калия при температуре 22°C.

### Вариант 29

1. Напишите химическую формулу и название соли, образующейся при растворении 15,2 г оксида хрома(III)

в 172,1 мл 20%-го раствора азотной кислоты плотностью 1,098 г/мл. По какому иону (катиону или аниону) протекает гидролиз этой соли?

2. Напишите в ионной форме уравнение реакции гидролиза той из названных ниже солей, которая подвергается гидролизу и по катиону, и по аниону: гипохлорит калия, гидросульфид аммония, сульфат цинка, фторид натрия.

3. Напишите в сокращенной ионной форме уравнение реакции гидролиза сульфида натрия и вычислите константу гидролиза этой соли по первой ступени.

4. Напишите в молекулярной форме уравнение реакции гидролиза сульфита натрия по первой ступени и вычислите степень гидролиза этой соли в 0,2 М растворе.

5. Вычислите рН раствора, полученного растворением 10,6 г карбоната натрия в 1 л воды, при температуре 22°C. Плотность раствора принять равной 1 г/мл.

### Вариант 30

1. Напишите химическую формулу и название соли, которая образуется при смешении 164 мл 20%-го раствора гидроксида натрия плотностью 1,22 г/мл и 349 мл 10%-го раствора хлороводородной кислоты плотностью 1,047 г/мл. Подвергается ли эта соль гидролизу?

2. Напишите химическую формулу той из названных ниже солей натрия, которая подвергается гидролизу в наибольшей степени: гипохлорит, хлорит, хлорат, перхлорат.

3. Напишите в сокращенной ионной форме уравнение реакции гидролиза хлорида алюминия и вычислите константу гидролиза этой соли по первой ступени.

4. Рассчитайте степень гидролиза хлорида марганца в растворе, титр которого равен 0,0125 г/мл.

5. Вычислите рН 0,25 М раствора нитрита натрия при температуре 0°C.



## Глава 6

# Строение атома и периодический закон Д. И. Менделеева

---

В результате успешного освоения материала этой главы студент должен:

— **знать:** принципы заполнения электронных орбиталей атома, современную формулировку периодического закона Д. И. Менделеева, структуру периодической системы;

— **уметь:** записывать электронные и электронно-структурные формулы атомов;

— **владеть:** представлениями о принципах квантовой теории строения вещества, о периодичности изменений свойств атомов и химических свойств элементов, о макро- и микроэлементах, о связи распространенности химических элементов с их положением в периодической системе.

**Изучите:** гл. 9 и 10 учебника.

---

### 3.1. Вопросы для подготовки к коллоквиуму

#### По теме «Строение атома»

1. Какие характеристики волнового процесса и корпускулярного движения объединяет уравнение де Бройля?

2. Погрешности определения каких величин объединяет соотношение Гейзенберга?

3. Чему равен квадрат модуля волновой функции?

4. Какие способы изображения электронного облака атома водорода вы знаете?

5. Какие неизвестные входят в уравнение Шрёдингера?

6. Что такое орбиталь?

7. Что определяет главное квантовое число? Какие значения оно принимает?

8. Что определяет орбитальное квантовое число? Какие значения оно принимает? Каковы буквенные обозначения числовых значений орбитального квантового числа? Какие геометрические формы электронных облаков соответствуют каждому из значений орбитального квантового числа?

9. Что определяет магнитное квантовое число? Какие значения может оно принимать при заданном значении орбитального квантового числа?

10. Что определяет спиновое квантовое число? Какие значения оно может принимать?

11. Как формулируется принцип минимума энергии?

12. Как формулируется принцип Паули? Почему его иногда называют запретом Паули?

13. Как формулируются правила Хунда?

14. Чем электронные формулы атомов отличаются от их электронно-структурных формул?

15. Что такое электронный остов?

16. Что такое «меченые соединения»?

### **По теме «Периодический закон Д. И. Менделеева»**

1. Какова современная формулировка периодического закона Д. И. Менделеева?

2. Что такое период?

3. Как читаются правила Клечковского?

4. Что общего у элементов одной группы (подгруппы) периодической системы Д. И. Менделеева?

5. Чем длиннопериодный вариант периодической системы отличается от короткопериодного варианта?

6. Что такое энергия ионизации?

7. Каким образом меняется в зависимости от заряда ядра атома первая энергия ионизации: а) у атомов элементов одного периода; б) у атомов элементов одной группы?

8. Что такое сродство к электрону?

9. Что такое электроотрицательность?

10. Каким образом меняется в зависимости от заряда ядра атома электроотрицательность: а) атомов элементов одного периода; б) атомов элементов одной группы?

11. Что такое радиус Ван-дер-Ваальса? Как эта характеристика атома элемента меняется в зависимости от заряда ядра атома: а) в периоде; б) в группе?

12. Какие химические свойства элементов изменяются периодическим образом?

13. Что такое кларк?

14. Как формулируется основной закон геохимии?

15. Какие элементы называют редкими?

16. Какие элементы относятся: а) к атмофильным, б) к литофильным, в) к халькофильным, г) к сидерофильным?

17. Какие элементы называют макроэлементами и какие микроэлементами? Совпадают ли эти определения, если речь идет о литосфере и живом веществе?

## 6.2. Пример решения задач

В индивидуальных заданиях этой главы много вопросов, для ответов на которые достаточно внимательно и вдумчиво прочитать гл. 9 и 10 учебника. Решение задач также невозможно без тщательной проработки материала этих глав.

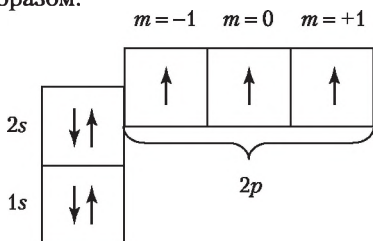
### Пример 6.1.

**Задача.** Определите значения всех четырех квантовых чисел для последнего (по порядку заполнения) электрона в атоме атмосферного элемента 15 группы (по нумерации Международного союза теоретической и прикладной химии — ИЮПАК).

**Решение.** Нумерация групп периодической системы Д. И. Менделеева, предложенная ИЮПАК, представлена в длиннопериодном варианте периодической системы на втором форзаце учебника. Предложенные ИЮПАК номера групп напечатаны арабскими цифрами под использовавшимися до сих пор номерами групп, которые напечатаны римскими цифрами и прописными латинскими буквами. Согласно нумерации ИЮПАК 15-я группа — это VA-группа по прежней нумерации.

Для отнесения элемента к той или иной группе по геохимической классификации элементов Гольдшмидта следует воспользоваться табл. 10.7 учебника. Из этой таблицы очевидно, что к атмосферным элементам в VA-группе относится только азот.

Электронно-структурная формула для этого элемента выглядит следующим образом:



В соответствии с принципом минимума энергии последние электроны займут наименее энергетически выгодный  $2p$ -подуровень. Для всех трех орбиталей этого подуровня главное квантовое число  $n = 2$ , орбитальное квантовое число  $l = 1$ . Орбитали  $p$ -подуровня энергетически равноценны между собой, однако принято считать, что сначала заполняется орбиталь, для которой магнитное квантовое число  $m = -1$ , затем заполняется орбиталь

с  $m = 0$  и последней заполняется орбиталь с  $m = +1$ . Итак, для последнего в порядке заполнения электрона в атоме азота магнитное квантовое число  $m = +1$ . Условимся, что для электронов, обозначенных стрелкой, направленной вверх, спиновое квантовое число  $s = +1/2$ .

Ответ. 2, 1, +1, +1/2.

### 6.3. Индивидуальные задания

#### Вариант 1

1. Как называется наука, изучающая распространенность и миграцию химических элементов в геосферах?

2. Как называется энергия, которую необходимо затратить для полного удаления электрона из изолированного свободного атома, находящегося в основном состоянии, на бесконечно большое расстояние?

3. Напишите химический символ  $d$ -элемента, относящегося к числу макроэлементов в живом веществе. Определите значения всех четырех квантовых чисел для последнего (по порядку заполнения) электрона в атоме этого элемента.

4. Для энергетических подуровней  $3s$ ,  $3p$ ,  $3d$  и  $4s$  вычислите суммы главного и орбитального квантовых чисел и, пользуясь правилами Клечковского, расположите обозначения этих подуровней в порядке заполнения их электронами.

5. Напишите химический символ элемента, атом которого имеет следующую электронную формулу:  $1s^2 2s^2 2p^3$ . К какой группе относится этот элемент согласно геохимической классификации Гольдшмидта?

#### Вариант 2

1. В периодической зависимости от чего находятся свойства химических элементов и образуемых ими простых и сложных веществ в соответствии с современной формулировкой периодического закона Д. И. Менделеева?

2. Напишите буквенное обозначение той из названных ниже величин, которая входит в уравнение Шредингера: погрешность определения координаты, волновая функция, погрешность определения скорости частицы, длина волны.

3. Напишите химические символы  $s$ -элементов третьего периода. К какой группе относятся эти элементы согласно геохимической классификации Гольдшмидта?

4. Какой буквой обозначаются энергетические подуровни, для которых орбитальное квантовое число равно нулю? Сколько значений принимает в этом случае магнитное квантовое число? Сколько орбиталей на каждом из таких подуровней?

5. Начертите электронно-структурную формулу атома гелия. Сколько электронов в этом атоме имеют спинное квантовое число  $-1/2$ ?

### Вариант 3

1. Какое квантовое число определяет энергетический уровень электрона в атоме? Какой буквой оно обозначается?

2. Как называется энергия, которая выделяется в результате присоединения электрона к электронейтральному атому?

3. Напишите химический символ амфифильного элемента VA-подгруппы. Определите значения всех четырех квантовых чисел для последнего (по порядку заполнения) электрона в атоме этого элемента.

4. Для энергетических подуровней  $3d$ ,  $4p$ ,  $4d$  и  $5s$  вычислите суммы главного и орбитального квантовых чисел и, пользуясь правилами Клечковского, расположите обозначения этих подуровней в порядке заполнения их электронами.

5. Напишите химический символ элемента, атом которого имеет следующую электронную формулу:  $1s^2 2s^2 2p^4$ . Какое место по распространенности в земной коре занимает этот элемент?

### Вариант 4

1. Какие значения может принимать орбитальное квантовое число для электронов атомов элементов периодической системы Д. И. Менделеева, находящихся в основном состоянии?

2. Как называется число, выражающее среднее содержание химического элемента на Земле в целом, в каждой из геосфер в отдельности, а также в живом веществе?

3. Напишите химические символы  $s$ -элементов второго периода. К какой группе относятся эти элементы согласно геохимической классификации Гольдшмидта?

4. Определите значения всех четырех квантовых чисел для последнего (по порядку заполнения) электрона в атоме элемента 15-й группы (по нумерации ИЮПАК), имеющего наименьший радиус Ван-дер-Ваальса.

5. Напишите химический символ элемента, атом которого имеет следующую электронную формулу:  $[Ar]3d^5 4s^2$ .

Относится ли этот элемент к числу микроэлементов, жизненно необходимых как для всех видов растений, так и для животных и человека?

### Вариант 5

1. Как называется принцип квантовой механики, который утверждает, что движение микрочастиц нельзя характеризовать траекторией как точной линией?

2. От чего согласно основному закону геохимии зависят кларки химических элементов?

3. Напишите химический символ наиболее распространенного элемента литосферы. Определите значения всех четырех квантовых чисел для последнего (по порядку заполнения) электрона в атоме этого элемента.

4. Для энергетических подуровней  $3d$ ,  $4p$ ,  $4d$  и  $5s$  вычислите суммы главного и орбитального квантовых чисел и, пользуясь правилами Клечковского, расположите обозначения этих подуровней в порядке заполнения их электронами.

5. Начертите электронно-структурную формулу  $p$ -элемента, который является жизненно необходимым микроэлементом для всех видов растений. Сколько электронов в атоме этого элемента находится в основном состоянии на  $2p$ -подуровне?

### Вариант 6

1. Как называется принцип квантовой механики, который утверждает, что в атоме не может быть двух электронов с одинаковыми значениями всех четырех квантовых чисел?

2. Как называют химические элементы с кларками менее 0,01–0,001%?

3. Напишите химические символы  $s$ -элементов первого периода. К какой группе относятся эти элементы согласно геохимической классификации Гольдшмидта?

4. Определите значения всех четырех квантовых чисел для последнего (по порядку заполнения) электрона в атоме элемента 16-й группы (по нумерации ИЮПАК), имеющего наименьший радиус Ван-дер-Ваальса.

5. Напишите химический символ элемента, атом которого имеет следующую электронную формулу:  $[\text{Ar}]3d^{10}4s^1$ . Относится ли этот элемент к числу микроэлементов, жизненно необходимых как для всех видов растений, так и для животных и человека?

### Вариант 7

1. Как называется общезначимый принцип, который утверждает, что наиболее устойчивым состоянием атома является состояние с минимальным запасом энергии?

2. От чего согласно основному закону геохимии зависит распределение элементов, обусловленное их миграцией?

3. Напишите химический символ элемента, занимающего второе место по распространенности в литосфере. Определите значения всех четырех квантовых чисел для последнего (по порядку заполнения) электрона в атоме этого элемента.

4. Для энергетических подуровней  $4p$ ,  $4d$ ,  $5s$  и  $5p$  вычислите суммы главного и орбитального квантовых чисел и, пользуясь правилами Клечковского, расположите обозначения этих подуровней в порядке заполнения их электронами.

5. Начертите электронно-структурную формулу  $p$ -элемента второго периода, который является жизненно необходимым микроэлементом для животных и человека. Сколько электронов в атоме этого элемента находится на  $2p$ -подуровне?

### Вариант 8

1. Как называется правило, которое утверждает, что электроны избегают занимать одну и ту же орбиталь?

2. Как называют химические элементы с кларками менее 0,01–0,001%, если они не образуют собственных минералов, а встречаются в виде примесей в минералах других элементов?

3. Напишите химические символы  $s$ -элементов четвертого периода. К какой группе относятся эти элементы согласно геохимической классификации Гольдшмидта?

4. На втором форзаце учебника приведен длиннопериодный вариант периодической системы Д. И. Менделеева, в котором арабскими цифрами указаны номера групп, рекомендуемые Международным союзом теоретической и прикладной химии (ИЮПАК). Подсчитайте общие числа электронов на энергетических подуровнях, застраивающихся в четвертом периоде, в атомах микроэлементов, относящихся к этому периоду и полезных только для отдельных видов растений и микроорганизмов. Совпадают ли эти числа с номерами групп, рекомендованными ИЮПАК?

5. Напишите химический символ элемента, атом которого имеет следующую электронную формулу:  $[Ar]3d^{10}4s^2$ .

Относится ли этот элемент к числу микроэлементов, жизненно необходимых как для всех видов растений, так и для животных и человека?

### Вариант 9

1. Как согласно геохимической классификации элементов Гольдшмидта называется группа химических элементов, которые присутствуют в атмосфере в виде атомов или двухатомных молекул и в этом состоянии непосредственно не взаимодействуют с другими элементами?

2. Какие субатомные частицы входят в состав атомного ядра?

3. Напишите химический символ  $p$ -элемента, входящего в десятку наиболее распространенных элементов литосферы, в атоме которого имеется нечетное число протонов. Определите значения всех четырех квантовых чисел для последнего (по порядку заполнения) электрона в атоме этого элемента.

4. Для энергетических подуровней  $4d$ ,  $5s$ ,  $5p$  и  $6s$  вычислите суммы главного и орбитального квантовых чисел и, пользуясь правилами Клечковского, расположите обозначения этих подуровней в порядке заполнения их электронами.

5. Начертите электронно-структурную формулу  $p$ -элемента четвертого периода, который является жизненно необходимым микроэлементом для животных и человека. Сколько электронов в атоме этого элемента находится на  $4p$ -подуровне?

### Вариант 10

1. Как называется совокупность химических элементов, расположенных в порядке возрастания заряда ядра атома, которая начинается  $ns$ -элементами и заканчивается  $np$ -элементами?

2. Как называется наука, изучающая геохимическую деятельность живого вещества?

3. Напишите химические символы  $s$ -элементов четвертого периода. К какой группе относятся эти элементы согласно геохимической классификации Гольдшмидта?

4. На втором форзаце учебника приведен длиннопериодный вариант периодической системы Д. И. Менделеева, в котором арабскими цифрами указаны номера групп, рекомендуемые Международным союзом теоретической и прикладной химии (ИЮПАК). Подсчитайте общие числа электронов на энергетических подуровнях, застраивающихся



в четвертом периоде, в атомах микроэлементов-металлов, относящихся к этому периоду и необходимых для нормального роста и развития животным и человеку. Совпадают ли эти числа с номерами групп, рекомендованными ИЮПАК?

5. Напишите химический символ элемента, атом которого имеет следующую электронную формулу:  $[\text{Kr}]4d^55s^1$ . Относится ли этот элемент к числу микроэлементов, жизненно необходимых как для всех видов растений, так и для животных и человека?

### Вариант 11

1. Как согласно геохимической классификации элементов Гольдшмидта называется группа химических элементов, которые образуют горные породы земной коры (оксиды, силикаты, солеобразные минералы) и гидратированные катионы гидросферы?

2. Напишите буквенные обозначения тех из названных ниже величин, которые входят в уравнение де Бройля: длина волны, масса частицы, волновая функция, погрешность определения координаты.

3. Напишите химический символ элемента, занимающего четвертое место по распространенности в литосфере. Определите значения всех четырех квантовых чисел для последнего (по порядку заполнения) электрона в атоме этого элемента.

4. Для энергетических подуровней  $4d$ ,  $4f$ ,  $5p$  и  $6s$  вычислите суммы главного и орбитального квантовых чисел и, пользуясь правилами Клечковского, расположите обозначения этих подуровней в порядке заполнения их электронами.

5. Начертите электронно-структурную формулу  $p$ -элемента пятого периода, который является жизненно необходимым микроэлементом для животных и человека. Сколько электронов в атоме этого элемента находится на  $5p$ -подуровне?

### Вариант 12

1. Как согласно геохимической классификации элементов Гольдшмидта называется группа химических элементов, которые встречаются в сульфидных рудах и обладают большим сродством к сере?

2. Какой буквой обозначаются энергетические подуровни, для которых орбитальное квантовое число равно единице? Сколько значений принимает в этом случае магнитное

квантовое число? Сколько орбиталей на каждом из таких подуровней?

3. Напишите химические символы *s*-элементов пятого периода. К какой группе относятся эти элементы согласно геохимической классификации Гольдшмидта?

4. На втором форзаце учебника приведен длиннопериодный вариант периодической системы Д. И. Менделеева, в котором арабскими цифрами указаны номера групп, рекомендуемые Международным союзом теоретической и прикладной химии (ИЮПАК). Подсчитайте общие числа электронов на энергетических подуровнях, застраивающихся в пятом периоде, в атомах микроэлементов, относящихся к этому периоду и необходимых для нормального роста и развития животных и человека. Совпадают ли эти числа с номерами групп, рекомендованными ИЮПАК?

5. Напишите химический символ элемента, атом которого имеет следующую электронную формулу:  $[Ar]3d^{10}4s^24p^3$ . Относится ли этот элемент к числу микроэлементов, полезных только для отдельных видов растений?

### Вариант 13

1. Как согласно геохимической классификации элементов Гольдшмидта называется группа химических элементов, которые преобладают в земном ядре, находясь в элементом состоянии?

2. Напишите уравнение граничных условий, которое используется для совместного решения с уравнением Шрёдингера в случае одноэлектронного атома.

3. Напишите химический символ элемента, занимающего пятое место по распространенности в литосфере. Определите значения всех четырех квантовых чисел для последнего (по порядку заполнения) электрона в атоме этого элемента.

4. Для энергетических подуровней  $4f$ ,  $5p$ ,  $5d$  и  $6s$  вычислите суммы главного и орбитального квантовых чисел и, пользуясь правилами Клечковского, расположите обозначения этих подуровней в порядке заполнения их электронами.

5. Начертите электронно-структурную формулу *s*-элемента третьего периода, который является макроэлементом в живом веществе, жизненно необходим для животных и человека и полезен для некоторых растений. Сколько электронов в атоме этого элемента находится на  $3s$ -подуровне?

### Вариант 14

1. Какие значения может принимать главное квантовое число для электронов атомов элементов периодической системы Д. И. Менделеева, находящихся в основном состоянии?

2. Как называются заболевания растений, животных и человека, причиной которых служат недостаток или избыток микроэлементов в почвах, водах, атмосфере, кормах и продуктах питания?

3. Напишите химические символы *s*-элементов шестого периода. К какой группе относятся эти элементы согласно геохимической классификации Гольдшмидта?

4. На втором форзаце учебника приведен длиннопериодный вариант периодической системы Д. И. Менделеева, в котором арабскими цифрами указаны номера групп, рекомендуемые Международным союзом теоретической и прикладной химии (ИЮПАК). Подсчитайте общие числа электронов на застраивающихся в соответствующих периодах энергетических подуровнях, в атомах микроэлементов-галогенов, необходимых для нормального роста и развития животных и человека. Для всех ли галогенов эти числа совпадают с номерами групп, рекомендованными ИЮПАК? Напишите химический символ того галогена, у которого такого совпадения нет.

5. Напишите химический символ элемента, атом которого имеет следующую электронную формулу:  $[\text{Ar}]3d^{10}4s^24p^4$ . Относится ли этот элемент к числу микроэлементов, необходимых для нормального роста и развития животных и человека и полезных для некоторых видов растений?

### Вариант 15

1. Как изменяется в периоде (увеличивается или уменьшается) электроположительность элементов?

2. Как в соответствии с определением В. И. Вернадского называется совокупность живых организмов, выраженная в единицах массы и энергии?

3. Напишите химический символ элемента, занимающего шестое место по распространенности в литосфере. Определите значения всех четырех квантовых чисел для последнего (по порядку заполнения) электрона в атоме этого элемента.

4. Для энергетических подуровней  $4f$ ,  $5d$ ,  $6s$  и  $6p$  вычислите суммы главного и орбитального квантовых чисел и,

пользуясь правилами Клечковского, расположите обозначения этих подуровней в порядке заполнения их электронами.

5. Начертите электронно-структурную формулу  $s$ -элемента третьего периода, который является макроэлементом в живом веществе, жизненно необходим для животных и растений. Сколько электронов в атоме этого элемента находится на  $3s$ -подуровне?

### Вариант 16

1. Какое квантовое число характеризует пространственную форму электронного облака? Какой буквой оно обозначается?

2. Как изменяется в периоде (увеличивается или уменьшается) число проявляемых элементами степеней окисления?

3. Напишите химический символ  $s$ -элемента, входящего в состав VIIIA-подгруппы периодической системы Д. И. Менделеева. К какой группе относится этот элемент согласно геохимической классификации Гольдшмидта?

4. Определите значения всех четырех квантовых чисел для последнего (по порядку заполнения) электрона в атоме элемента 17-й группы (по нумерации ИЮПАК), имеющего наименьший радиус Ван-дер-Ваальса.

5. Напишите химический символ элемента, атом которого имеет следующую электронную формулу:  $[\text{He}]2s^22p^1$ . Относится ли этот элемент к числу микроэлементов, жизненно необходимых для всех видов растений?

### Вариант 17

1. Как изменяются в периоде (усиливаются или ослабевают) металлические свойства элементов?

2. Напишите уравнение потенциальной энергии, которое используется для совместного решения с уравнением Шредингера в случае одноэлектронного атома.

3. Напишите химический символ элемента, занимающего седьмое место по распространенности в литосфере. Определите значения всех четырех квантовых чисел для последнего (по порядку заполнения) электрона в атоме этого элемента.

4. Для энергетических подуровней  $4f$ ,  $5d$ ,  $6p$  и  $7s$  вычислите суммы главного и орбитального квантовых чисел и, пользуясь правилами Клечковского, расположите обозначения этих подуровней в порядке заполнения их электронами.

5. Начертите электронно-структурную формулу  $s$ -элемента первого периода, который является макроэлементом в живом веществе, жизненно необходим для животных и растений. Сколько электронов в атоме этого элемента находится на  $1s$ -подуровне?

### Вариант 18

1. Как изменяется (увеличивается или уменьшается) в периоде восстановительная способность элементов?

2. Напишите буквенные обозначения тех из названных ниже величин, которые входят в уравнение Шредингера: потенциальная энергия частицы, скорость частицы, вторая частная производная волновой функции по координате  $y$ , масса электрона.

3. Напишите химический символ элемента VA-подгруппы, который согласно геохимической классификации Гольдшмидта относится к атмофильным элементам. На каком энергетическом подуровне находится в атоме этого элемента последний (по порядку заполнения) электрон?

4. Определите значения всех четырех квантовых чисел для последнего (по порядку заполнения) электрона в атоме наиболее электроположительного элемента четвертого периода. Какое место занимает этот элемент по распространенности в литосфере?

5. Напишите химический символ элемента, атом которого имеет следующую электронную формулу:  $[Ar]3d^7 4s^2$ . Относится ли этот элемент к числу микроэлементов, необходимых для нормального роста и развития животных и человека и полезных только для отдельных видов растений?

### Вариант 19

1. Как изменяется в периоде (увеличивается или уменьшается) способность элементов к образованию кислот?

2. Первая энергия ионизации у атома серы меньше, чем у атома фосфора. Какая из названных ниже причин объясняет это отклонение от общей для любого периода тенденции к увеличению  $I_1$  с ростом заряда ядра: а) экранирование заряда ядра; б) взаимное отталкивание электронов, занимающих одну и ту же орбиталь?

3. Напишите химический символ элемента, занимающего восьмое место по распространенности в литосфере. Определите значения всех четырех квантовых чисел для последнего (по порядку заполнения) электрона в атоме этого элемента.

4. Для энергетических подуровней  $5d$ ,  $5f$ ,  $6p$  и  $7s$  вычислите суммы главного и орбитального квантовых чисел и, пользуясь правилами Клечковского, расположите обозначения этих подуровней в порядке заполнения их электронами.

5. Начертите электронно-структурную формулу  $p$ -элемента второго периода, который является макроэлементом в живом веществе, жизненно необходим для животных и растений и относится по геохимической классификации Гольдшмидта к атмофильным элементам. Сколько электронов в атоме этого элемента находится на  $2p$ -подуровне?

### Вариант 20

1. Как изменяется (усиливается или ослабевает) в группе восстановительная способность элементов?

2. Напишите буквенные обозначения тех из названных ниже величин, которые входят в соотношение Гейзенберга: потенциальная энергия, масса частицы, заряд ядра, погрешность определения координаты.

3. Напишите химический символ элемента VA-подгруппы, который согласно геохимической классификации Гольдшмидта относится к литофильным элементам. На каком энергетическом подуровне находится в атоме этого элемента последний (по порядку заполнения) электрон?

4. Определите значения всех четырех квантовых чисел для последнего (по порядку заполнения) электрона в атоме наиболее электроположительного элемента третьего периода. Какое место занимает этот элемент по распространенности в литосфере?

5. Напишите химический символ элемента, атом которого имеет следующую электронную формулу:  $[\text{Kr}]5s^25p^5$ . Относится ли этот элемент к числу микроэлементов, необходимых для нормального роста и развития животных и человека?

### Вариант 21

1. Как изменяется в периоде (увеличивается или уменьшается) способность элементов к образованию оснований?

2. Первая энергия ионизации у атома кислорода меньше, чем у атома азота. Какая из названных ниже причин объясняет это отклонение от общей для любого периода тенденции к увеличению  $I_1$  с ростом заряда ядра: а) экранирование заряда ядра; б) взаимное отталкивание электронов, занимающих одну и ту же орбиталь?

3. Напишите химический символ  $d$ -элемента IVB-подгруппы, входящего в десятку наиболее распространенных элементов литосферы. Определите значения всех четырех квантовых чисел для последнего (по порядку заполнения) электрона в атоме этого элемента.

4. Для энергетических подуровней  $5f$ ,  $6p$ ,  $6d$  и  $7s$  вычислите суммы главного и орбитального квантовых чисел и, пользуясь правилами Клечковского, расположите обозначения этих подуровней в порядке заполнения их электронами.

5. Напишите химические символы биогенных макроэлементов, которые относятся ко второму периоду. Начертите электронно-структурную формулу наименее электроотрицательного из них. Сколько электронов в атоме этого элемента находится на  $2p$ -подуровне?

### Вариант 22

1. Как называется половина кратчайшего расстояния, на которое могут сблизиться ядра двух одинаковых атомов, если они принадлежат разным молекулам?

2. Как изменяются (возрастают или уменьшаются) в группах металлические свойства элементов? У какого элемента 16-й группы (по нумерации ИЮПАК) в наибольшей степени выражены металлические свойства?

3. Напишите химический символ элемента VIB-подгруппы, который согласно геохимической классификации Гольдшмидта относится к сидерофильным элементам. На каком энергетическом подуровне находится в атоме этого элемента последний (по порядку заполнения) электрон?

4. Какой буквой обозначаются энергетические подуровни, для которых орбитальное квантовое число равно двум? Сколько значений принимает в этом случае магнитное квантовое число? Сколько орбиталей на каждом из таких подуровней?

5. Напишите химический символ элемента, атом которого имеет следующую электронную формулу:  $[\text{Ne}]3s^23p^4$ . Относится ли этот элемент к числу макроэлементов в живом веществе?

### Вариант 23

1. Какое квантовое число определяет число орбиталей на подуровне? Какой буквой оно обозначается?

2. Как изменяется (возрастает или уменьшается) в группах окислительная способность элементов? Какой элемент



является самым слабым окислителем в 17-й группе (по нумерации ИЮПАК)?

3. Напишите химический символ элемента, к которому обладают большим сродством все халькофильные элементы. Определите значения всех четырех квантовых чисел для последнего (по порядку заполнения) электрона в атоме этого элемента.

4. Для энергетических подуровней  $5f$ ,  $6d$ ,  $7s$  и  $7p$  вычислите суммы главного и орбитального квантовых чисел и, пользуясь правилами Клечковского, расположите обозначения этих подуровней в порядке заполнения их электронами.

5. Напишите химические символы  $p$ -элементов третьего периода, которые относятся к числу макроэлементов в живом веществе. Начертите электронно-структурную формулу наиболее электроотрицательного из них. Сколько электронов в атоме этого элемента находится на  $3p$ -подуровне?

### Вариант 24

1. Какие значения принимает спиновое квантовое число? Какой буквой оно обозначается?

2. Как изменяется (возрастает или уменьшается) в группах электроположительных элементов сила оснований?

3. Напишите химический символ элемента VIIB-подгруппы, который согласно геохимической классификации Гольдшмидта относится к сидерофильным элементам. На каком энергетическом подуровне находится в атоме этого элемента последний (по порядку заполнения) электрон?

4. Определите значения всех четырех квантовых чисел для последнего (по порядку заполнения) электрона в атоме наиболее электроотрицательного элемента третьего периода. Является ли он макроэлементом в литосфере?

5. Напишите химический символ элемента, атом которого имеет следующую электронную формулу:  $[\text{Ne}]3s^23p^3$ . Относится ли этот элемент к числу макроэлементов в живом веществе?

### Вариант 25

1. Как изменяются (увеличиваются или уменьшаются) в группе радиусы Ван-дер-Ваальса?

2. Отсутствие блеска, наличие окраски, хрупкость, электро- и теплоизоляционные свойства — это признаки металла или неметалла?



3. Напишите химические символы элементов, кларки которых в литосфере превышают 0,1%, но их не относят к макроэлементам в литосфере. Определите значения всех четырех квантовых чисел для последнего (по порядку заполнения) электрона в атоме того из этих элементов, который по геохимической классификации Гольдшмидта является атмофильным.

4. В периодической системе Д. И. Менделеева семь периодов. Однако 119-й элемент должен быть элементом нового, восьмого периода. В его атоме должен быть один электрон на подуровне  $8s$ . Для энергетических подуровней  $5f$ ,  $6d$ ,  $7p$  и  $8s$  вычислите суммы главного и орбитального квантовых чисел и, пользуясь правилами Клечковского, расположите обозначения этих подуровней в порядке заполнения их электронами.

5. Напишите химические символы  $s$ -элементов четвертого периода, которые относятся к числу макроэлементов в живом веществе. Начертите электронно-структурную формулу наиболее электроположительного из них. Сколько электронов в атоме этого элемента находится на  $4s$ -подуровне?

### Вариант 26

1. Как изменяется (увеличивается или уменьшается) в группе электроотрицательность элементов?

2. Как называется явление, суть которого заключается в том, что в многоэлектронных атомах на электроны самых удаленных от ядра валентных подуровней действует не полный заряд ядра  $z$ , а значительно меньший эффективный заряд  $z_{эф}$ ?

3. Напишите химические символы элементов IIIA-подгруппы, которые согласно геохимической классификации Гольдшмидта относятся к литофильным элементам. Какие энергетические подуровни заполняются электронами в атомах этих элементов?

4. Определите значения всех четырех квантовых чисел для последнего (по порядку заполнения) электрона в атоме элемента, у которого сильнее всего выражены металлические свойства.

5. Напишите химический символ элемента, атом которого имеет следующую электронную формулу:  $[\text{He}]2s^22p^2$ . Относится ли этот элемент к числу макроэлементов в живом веществе?

### Вариант 27

1. Как изменяются (увеличиваются или уменьшаются) в периоде радиусы Ван-дер-Ваальса?

2. Блеск, пластичность, электрическая проводимость, теплопроводность — это признаки металла или неметалла?

3. Напишите химические символы элементов, кларки которых в литосфере превышают 0,1%, но их не относят к макроэлементам в литосфере. Определите значения всех четырех квантовых чисел для последнего (по порядку заполнения) электрона в атоме того из этих элементов, который по геохимической классификации Гольдшмидта является литофильным.

4. В периодической системе Д. И. Менделеева семь периодов. Если будут синтезированы ядра атомов, содержащие более 118 протонов, то они должны войти в состав нового, восьмого периода. При этом в атомах элементов восьмого периода возможно заполнение энергетического подуровня, для которого орбитальное квантовое число равно четырем. Это подуровень  $5g$ . Для энергетических подуровней  $5g$ ,  $6d$ ,  $7p$  и  $8s$  вычислите суммы главного и орбитального квантовых чисел и, пользуясь правилами Клечковского, расположите обозначения этих подуровней в порядке заполнения их электронами.

5. Напишите химические символы элементов VIIA-подгруппы, которые относятся к числу микроэлементов, необходимых для нормального роста и развития животных и человека. Начертите электронно-структурную формулу наименее электроотрицательного из них. Сколько электронов в атоме этого элемента находится на  $5p$ -подуровне?

### Вариант 28

1. Как изменяется (увеличивается или уменьшается) в периоде электроотрицательность элементов?

2. Напишите буквенные обозначения тех из названных ниже величин, которые входят в уравнение Шрёдингера: полная энергия частицы, постоянная Планка, вторая частная производная волновой функции по координате  $x$ , погрешность определения координаты.

3. Напишите химический символ элемента IA-подгруппы, который согласно геохимической классификации Гольдшмидта относится к атмофильным элементам. Какой энергетический подуровень заполняется электронами в атомах этого элемента?

4. Определите значения всех четырех квантовых чисел для последнего (по порядку заполнения) электрона в атоме элемента, у которого сильнее всего выражены неметаллические свойства.

5. Напишите химический символ элемента, атом которого имеет следующую электронную формулу:  $[\text{He}]2s^22p^3$ . Относится ли этот элемент к числу макроэлементов в живом веществе?

### Вариант 29

1. Как называется правило, которое утверждает, что электроны, поодиночке занимающие орбитали одного и того же подуровня, имеют одинаковые спины?

2. Как изменяется (возрастает или уменьшается) в группах электроотрицательных элементов сила бескислородных кислот?

3. Напишите химический символ элемента, который относится к макроэлементам в живом веществе, а по геохимической классификации Гольдшмидта является сидерофильным. Определите значения всех четырех квантовых чисел для последнего (по порядку заполнения) электрона в атоме этого элемента.

4. Для энергетических подуровней  $2s$ ,  $2p$ ,  $3s$  и  $3p$  вычислите суммы главного и орбитального квантовых чисел и, пользуясь правилами Клечковского, расположите обозначения этих подуровней в порядке заполнения их электронами.

5. Напишите химические символы неметаллов, которые относятся к числу микроэлементов, необходимых для нормального роста и развития животных и человека. Начертите электронно-структурную формулу наиболее электроотрицательного из них. Сколько электронов в атоме этого элемента находится на  $2p$ -подуровне?

### Вариант 30

1. Как изменяется (увеличивается или уменьшается) в периоде первая энергия ионизации?

2. Напишите буквенные обозначения тех из названных ниже величин, которые входят в соотношение Гейзенберга: длина волны, постоянная Планка, волновая функция, погрешность определения координаты.

3. Напишите химические символы элементов VIA-подгруппы, которые согласно геохимической классификации Гольдшмидта относятся к литофильным элементам. На каком

энергетическом подуровне находятся в атомах этих элементов последние (по порядку заполнения) электроны?

4. Какой буквой обозначаются энергетические подуровни, для которых орбитальное квантовое число равно трем? Сколько значений принимает в этом случае магнитное квантовое число? Сколько орбиталей на каждом из таких подуровней?

5. Напишите химический символ элемента, атом которого имеет следующую электронную формулу:  $[\text{Ne}]3s^23p^5$ . Относится ли этот элемент к числу макроэлементов в живом веществе?

## Глава 7

# Химическая связь

---

В результате успешного освоения материала этой главы студент должен:

- **знать:** типы и характеристики химических связей;
- **уметь:** по разности электроотрицательностей элементов определять тип связи, определять число неспаренных электронов в основном и возбужденном состояниях атомов;
- **владеть:** представлениями о методах валентных связей и молекулярных орбиталей, о пространственной конфигурации важнейших молекул и ионов

**Изучите:** гл. 11 учебника.

**Повторите:** гл. 9, 10 учебника.

---

### 7.1. Вопросы для подготовки к коллоквиуму

1. Что такое химическая связь? Как она образуется?
2. Что такое электроотрицательность атома химического элемента?
3. Зависит ли тип химической связи от электроотрицательностей взаимодействующих атомов?
4. Какая условная граница разделяет соединения с преобладанием ионной связи и соединения с преобладанием ковалентной связи?
5. Что такое ковалентная связь? Как ее изображают?
6. Как распределяется электронная плотность пары электронов при образовании ковалентной связи? Что такое полярная ковалентная связь?
7. Чем различаются обменный и донорно-акцепторный механизмы образования химической связи?
8. Как определить валентность атома химического элемента?
9. Что означает гибридизация атомных орбиталей?
10. Сколько  $s$ - и  $p$ -орбиталей участвует в образовании гибридных орбиталей при  $sp$ -,  $sp^2$ - и  $sp^3$ -гибридизации? Сколько гибридных орбиталей образуется в каждом из этих случаев?

11. Как гибридные орбитали располагаются в пространстве? Каковы градусные меры валентных углов в молекулах, орбитали центральных атомов в которых находятся в состоянии  $sp$ -,  $sp^2$ - и  $sp^3$ -гибридизации?

12. Зависит ли геометрическая форма молекулы от наличия у центрального атома несвязывающих электронных пар?

13. Как и почему изменяются градусные меры валентных углов в следующем ряду молекул:  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ?

14. Как распределяется электронная плотность при образовании  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей?

15. Чем различаются способы описания химической связи в методе валентных связей и методе молекулярных орбиталей?

## 7.2. Примеры решения задач

### Задачи на определение степени ионности связи

Решая задачи этого типа, нужно помнить, что в соединениях, образованных атомами одного и того же химического элемента, возникают чисто ковалентные связи, для которых характерно расположение максимума электронной плотности на середине расстояния между ядрами атомов. Степень ионности таких связей равна нулю. Если же взаимодействуют атомы разных химических элементов, то максимум электронной плотности смещается в сторону ядра атома с большей электроотрицательностью. Чем больше отличаются взаимодействующие атомы по своей электроотрицательности, тем больше неравномерность распределения электронной плотности и тем больше максимум электронной плотности смещен в сторону ядра атома более электроотрицательного элемента. В результате такого неравномерного распределения электронной плотности атом более электроотрицательного элемента приобретает отрицательный эффективный заряд, а взаимодействующий с ним атом более электроположительного элемента — положительный эффективный заряд. Ковалентную связь между атомами, различающимися по электроотрицательности и, следовательно, имеющими разные эффективные электрические заряды, называют полярной ковалентной связью. Соединения с полярной ковалентной связью между атомами

приобретают некоторые свойства, обычные для ионных соединений, в частности некоторые из них могут диссоциировать на ионы в растворах. Такой промежуточный, переходный от ковалентного к ионному характер полярной ковалентной связи принято характеризовать степенью ионности связи, выражаемой в процентах. Степень ионности связи зависит от разности электроотрицательностей взаимодействующих атомов.

Первая шкала электроотрицательности (см. табл. 10.2 учебника) была предложена американским ученым Л. Полингом в 1930-х гг. Он же предложил шкалу, позволяющую приблизительно оценивать степень ионности одинарной полярной ковалентной связи в зависимости от разности электроотрицательностей взаимодействующих атомов (табл. 7.1). Из этой таблицы следует, что при разности электроотрицательностей, превышающей 1,75, преобладает ионный характер связи (степень ионности больше 50%). Значения электроотрицательностей элементов, отсутствующих в табл. 10.2 учебника, можно найти в прил. 5.

Таблица 7.1

**Зависимость степени ионности полярной ковалентной связи от разности электроотрицательностей**

Разность электроотрицательностей $\Delta\chi$	Степень ионности, %	Разность электроотрицательностей $\Delta\chi$	Степень ионности, %
0,2	1	1,8	55
0,4	4	2,0	63
0,6	9	2,2	70
0,8	15	2,4	76
1,0	22	2,6	82
1,2	30	2,8	86
1,4	39	3,0	89
1,6	47	3,2	92

**Пример 7.1.**

**Задача.** Пользуясь таблицей электроотрицательностей элементов, определите степень ионности (%) следующих связей: Н—F, N—O.

**Решение.** Электроотрицательности атомов водорода и фтора, найденные в прил. 5:  $\chi(\text{H}) = 2,2$ ,  $\chi(\text{F}) = 3,98$ . Разность

электроотрицательностей  $\Delta\chi = \chi(\text{F}) - \chi(\text{H}) = 3,98 - 2,2 = 1,78$ . Такого числового значения разности электроотрицательностей в табл. 7.1 нет. Для оценки степени ионности, соответствующей отсутствующему в таблице значению разности электроотрицательностей, рекомендуется воспользоваться расчетом с использованием метода линейной интерполяции.

Для этого в табл. 7.1 находим ближайшие предшествующее найденному и следующее за ним значения разности электроотрицательностей. Для 1,78 такие табличные значения равны 1,6 и 1,8. Соответствующие им степени ионности связи составляют 47 и 55%. Очевидно, что искомая степень ионности будет больше 47%, но меньше 55%. Предполагая, что в этом интервале зависимость степени ионности от  $\Delta\chi$  является линейной, вычисляем ее следующим образом:

$$\text{степень ионности} = 47 + \frac{(55 - 47)(1,78 - 1,6)}{1,8 - 1,6} = 54,2.$$

Учитывая, что все оценки степени ионности связи имеют очень приблизительный характер, полученное при расчете числовое значение следует округлить до целых единиц.

Проводим аналогичный расчет для связи N—O.

Электроотрицательности атомов азота и кислорода  $\chi(\text{N}) = 3,07$ ,  $\chi(\text{O}) = 3,50$ . Разность электроотрицательностей  $\Delta\chi = \chi(\text{O}) - \chi(\text{N}) = 3,50 - 3,07 = 0,43$ . Такого числового значения разности электроотрицательностей в табл. 7.1 тоже нет. Для оценки степени ионности воспользуемся методом линейной интерполяции. Для 0,43 ближайшие предшествующее и следующее за ним значения разности электроотрицательностей равны 0,4 и 0,6. Соответствующие им степени ионности связи составляют 4 и 9%. Очевидно, что искомая степень ионности будет больше 4%, но меньше 9%. Предполагая, что в этом интервале зависимость степени ионности от  $\Delta\chi$  является линейной, вычисляем ее следующим образом:

$$\text{степень ионности} = 4 + \frac{(9 - 4)(0,43 - 0,4)}{0,6 - 0,4} = 4,75.$$

*Ответ.* Степень ионности связи N—F — 54%, степень ионности связи N—O — 5%.

### Задачи на определение числа неспаренных электронов

Определение числа неспаренных электронов в атоме нужно для оценки валентных возможностей данного атома. Однако при этом следует помнить, что число неспаренных электронов в атоме определяет число связей, которые данный атом может образовать с другими атомами только по обменному механизму, когда каждый атом предоставляет



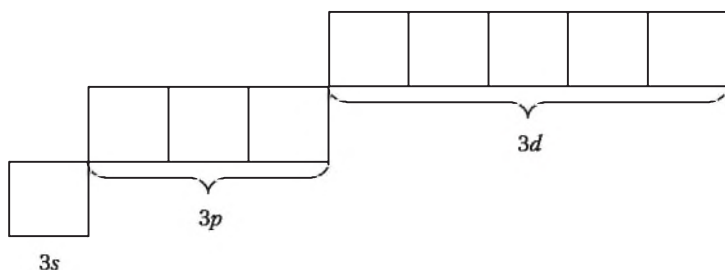
по одному электрону для образования общей электронной пары. Для оценки общих валентных возможностей атома нужно принимать во внимание наряду с неспаренными электронами наличие в атоме несвязывающих электронных пар и вакантных орбиталей, благодаря которым могут образовываться связи по донорно-акцепторному механизму.

### Пример 7.2.

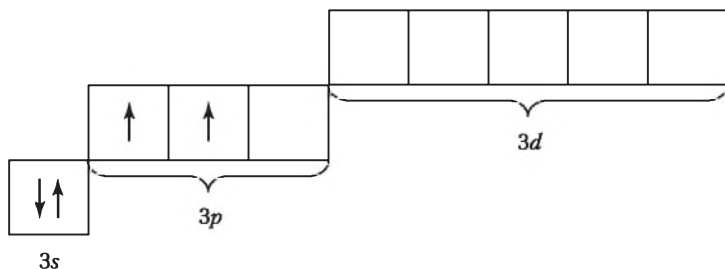
**Задача.** Укажите число неспаренных электронов в основном и возбужденном состояниях атома кремния.

**Решение.** Для определения числа неспаренных электронов нужно рассмотреть электронно-структурную формулу атома данного в условии задачи элемента.

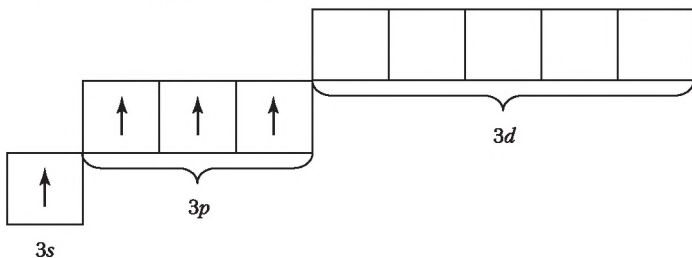
Кремний — элемент третьего периода. Следовательно, в его атоме три энергетических уровня. На внешнем, третьем, энергетическом уровне три подуровня:  $3s$ ,  $3p$  и  $3d$ :



Для  $s$ - и  $p$ -элементов число электронов на внешнем энергетическом уровне равно номеру группы. Кремний —  $p$ -элемент подгруппы IVA, следовательно, на внешнем, третьем, энергетическом уровне у него четыре электрона. В соответствии с принципом минимума энергии и запретом Паули два из них находятся на самом энергетически выгодном подуровне  $3s$ . Еще два электрона в соответствии с правилом Хунда по одному занимают две орбитали  $3p$ -подуровня, имея параллельные спины:



Построенная электронно-структурная формула внешнего энергетического уровня атома кремния отражает распределение электронов по подуровням и орбиталям в основном, невозбужденном состоянии. Из этой схемы очевидно, что в основном состоянии в атоме кремния имеется два неспаренных электрона на  $3p$ -подуровне. Два электрона на подуровне  $3s$  образуют электронную пару. При переходе атома кремния в возбужденное состояние эта электронная пара разделяется и один из электронов переходит на подуровень  $3d$ :



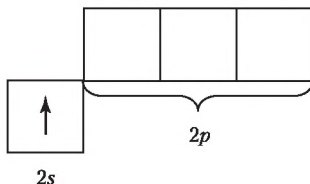
Из полученной электронно-структурной формулы внешнего энергетического уровня атома кремния в возбужденном состоянии очевидно, что в этом случае имеется четыре неспаренных электрона.

*Ответ.* Два неспаренных электрона в основном состоянии, четыре неспаренных электрона в возбужденном состоянии.

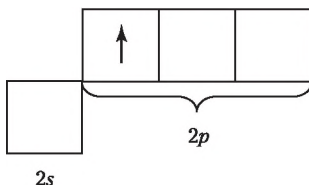
### Пример 7.3.

*Задача.* Укажите число неспаренных электронов в основном и возбужденном состояниях атома лития.

*Решение.* Литий — элемент второго периода. В его атоме два энергетических уровня. Внешний, второй, энергетический уровень расщепляется на два подуровня —  $2s$  и  $2p$ . Литий —  $s$ -элемент подгруппы IA. На внешнем энергетическом уровне в его атоме один электрон. В соответствии с принципом минимума энергии в основном, невозбужденном, состоянии он находится на более энергетически выгодном  $2s$ -подуровне:



При переходе атома лития в возбужденное состояние единственный электрон внешнего энергетического уровня может перейти с более низкого подуровня  $2s$  на более высокий подуровень  $2p$ :



Очевидно, что в обоих состояниях атома имеется один неспаренный электрон. Переход электронов с первого энергетического уровня на второй невозможен.

*Ответ.* Один неспаренный электрон в основном и один неспаренный электрон в возбужденном состоянии.

### Задачи на определение числа $\sigma$ - и $\pi$ -связей в молекуле

Приступая к решению задач этого типа, следует вспомнить, какие существуют типы перекрывания атомных орбиталей. Затем нужно записать графическую формулу молекулы вещества, о котором идет речь в условии задачи. Все простые одинарные связи в молекуле — это  $\sigma$ -связи. В кратных, двойных и тройных, связях одна из связей — это тоже  $\sigma$ -связь, а вторая и третья связи — это  $\pi$ -связи.

#### Пример 7.4.

*Задача.* Определите число  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекуле оксида углерода(IV).

*Решение.* Графическая формула оксида углерода(IV) выглядит следующим образом:  $\text{O}=\text{C}=\text{O}$ .

В этой молекуле две двойные связи. В каждой из двойных связей присутствуют одна  $\sigma$ -связь и одна  $\pi$ -связь. Таким образом, в этой молекуле две  $\sigma$ -связи и две  $\pi$ -связи.

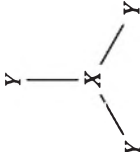
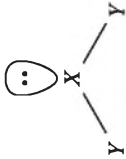
*Ответ.* Две  $\sigma$ -связи и две  $\pi$ -связи.

### Определение типа гибридизации электронных орбиталей атома в молекуле или ионе и геометрической формы частиц

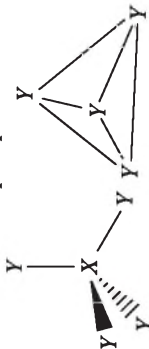
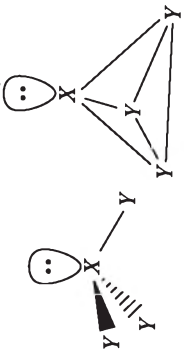
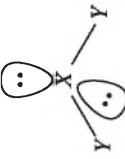
Чтобы решать задачи этого типа, нужно хорошо представлять себе, какую геометрическую форму могут иметь молекулы и ионы при том или ином типе гибридизации электронных орбиталей центрального атома. Также следует принимать во внимание влияние несвязывающих электронных пар на геометрическую форму молекул и ионов. Известные вам сведения о взаимосвязи геометрической формы частиц и типа гибридизации их центральных атомов обобщены в табл. 7.2. В этой таблице центральные атомы обозначены буквой X, связанные с ним атомы обозначены буквой Y.

Таблица 7.2

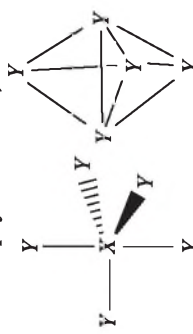
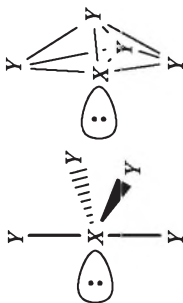
Геометрическая форма частиц для часто встречающихся типов гибридизации центральных атомов

Тип гибридизации	Число связывающих электронных пар	Число несвязывающих электронных пар	Состав частицы	Геометрическая форма частицы
$sp$	2	0	$XU_2$	Линейная $Y - X - Y$
$sp^2$	3	0	$XU_3$	Тригональная (плоский треугольник) 
	2	1	$XU_2$	Угловая 

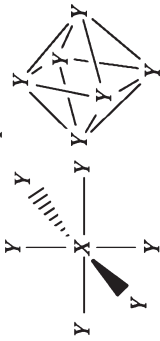

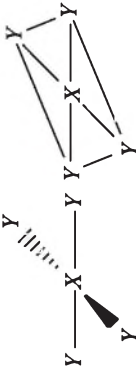
Продолжение табл. 7.2

Тип гибридизации	Число связывающих электронных пар	Число несвязывающих электронных пар	Состав частицы	Геометрическая форма частицы
$sp^3$	4	0	$XU_4$	<p>Тетраэдр</p> 
	3	1	$XU_3$	<p>Треугольная пирамида (пирамида, основание которой – правильный треугольник)</p> 
	2	2	$XU_2$	<p>Угловая</p> 

Продолжение табл. 7.2

Тип гибридизации	Число связывающих электронных пар	Число несвязывающих электронных пар	Состав частицы	Геометрическая форма частицы
$sp^3d$	5	0	$XY_5$	<p>Тригональная бипирамида (две пирамиды, соединенные общим основанием — правильным треугольником)</p> 
	4	1	$XY_4$	<p>Дисфеноид (искаженный тетраэдр, несвязывающая электронная пара находится в экваториальной плоскости тригональной бипирамиды)</p> 

Окончание табл. 7.2

Тип гибридизации	Число связывающих электронных пар	Число несвязывающих электронных пар	Состав частицы	Геометрическая форма частицы
$sp^3d^2$	6	0	$XU_6$	<p>Октаэдр</p> 
	5	1	$XU_5$	<p>Квадратная пирамида (пирамида, основание которой – квадрат)</p> 
	4	2	$XU_4$	<p>Плоский квадрат</p> 

**Пример 7.5.**

**Задача.** Напишите химическую формулу того из названных ниже веществ, в молекуле которого электронные орбитали центрального атома находятся в состоянии  $sp$ -гибридизации: аммиак, вода, хлорид бериллия в газообразном состоянии, метан.

**Решение.** Начинать решение задачи нужно с написания химических формул веществ, о которых идет речь в условиях задачи. Если по названию вещества сразу не удастся определить его химическую формулу, то следует прибегнуть к помощи предметного указателя в конце учебника. В предметном указателе названия всех веществ, упомянутых в учебнике, приведены в порядке русского алфавита. После названия вещества стоят номера страниц, на которых идет речь об этом веществе.

Формулы веществ, рассматриваемых в данной задаче, следующие:

аммиак

вода

хлорид  
бериллия

метан

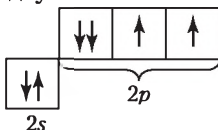


Химические символы центральных атомов в формулах выделены жирным шрифтом.

При  $sp$ -гибридизации электронных орбиталей атома образуются две гибридные орбитали, угол между которыми равен  $180^\circ$ . Если гибридные  $sp$ -орбитали перекрываются с орбиталями других атомов, то образуются линейные молекулы, состоящие из трех атомов. Такие молекулы имеют формулу  $\text{XY}_2$  ( $\text{Y}-\text{X}-\text{Y}$ ), где  $\text{X}$  — центральный атом, орбитали которого находятся в состоянии  $sp$ -гибридизации. В данной задаче из трех атомов состоят молекулы воды  $\text{H}_2\text{O}$  и хлорида бериллия  $\text{BeCl}_2$ . Молекулы аммиака и метана можно исключить из рассмотрения, потому что они состоят из большего числа атомов.

Однако трехатомные молекулы состава  $\text{XY}_2$  могут образовываться не только в случае  $sp$ -гибридизации, но и при  $sp^3$ -гибридизации электронных орбиталей центрального атома, если в нем имеются две несвязывающие электронные пары. Чтобы убедиться в наличии или отсутствии несвязывающих электронных пар, нужно воспользоваться электронно-структурными формулами центральных атомов: атомов кислорода и бериллия.

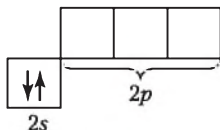
Электронно-структурная формула атома кислорода свидетельствует о наличии в нем двух неспаренных электронов, которые могут участвовать в образовании двух ковалентных связей по обменному механизму, и двух несвязывающих электронных пар:



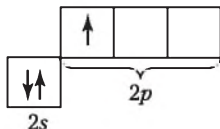


В молекуле воды одна  $s$ -орбиталь и три  $p$ -орбитали атома кислорода гибридизуются и образуются четыре гибридные  $sp^3$ -орбитали. Две из них, занятые неспаренными электронами, перекрываются с  $s$ -орбиталями атомов водорода, в результате чего образуется молекула воды. Еще две гибридные орбитали заняты несвязывающими электронными парами. Итак, в молекуле воды электронные орбитали центрального атома находятся в состоянии  $sp^3$ -гибридизации.

В атоме бериллия на внешнем энергетическом уровне два электрона. В основном состоянии они оба находятся на подуровне  $2s$ , образуя электронную пару. Поэтому валентность атома бериллия в основном состоянии равна нулю.



При переходе атома Be в возбужденное состояние один из электронов переходит с подуровня  $2s$  на подуровень  $2p$  с более высокой энергией. Электронная пара разделяется, и атом бериллия приобретает способность к образованию двух ковалентных связей по обменному механизму, т.е. его валентность становится равной двум.



Орбитали  $2s$ - и  $2p$ -подуровней, на которых находятся неспаренные электроны, гибридизуются и образуются две гибридные  $sp$ -орбитали, которые перекрываются с  $p$ -орбиталями атомов хлора с образованием линейной трехатомной молекулы  $\text{BeCl}_2$ . Следовательно, искомая молекула с  $sp$ -гибридизацией электронных орбиталей центрального атома — это молекула хлорида бериллия в газообразном состоянии.

Ответ.  $\text{BeCl}_2$ .

## 7.3. Индивидуальные задания

### Вариант 1

1. Пользуясь таблицей электроотрицательностей элементов, определите степень ионности (%) следующих связей:  $\text{H}-\text{F}$ ,  $\text{N}-\text{O}$ .

2. Укажите число неспаренных электронов в основном и возбужденном состояниях атома хлора.

3. Определите число  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекуле трихлорида фосфора.

4. Напишите название иона, в котором электронные орбитали центрального атома имеют  $sp^2$ -гибридизацию:  $\text{ClO}_4^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_3\text{O}^+$ .

5. Какова пространственная конфигурация молекулы метана?

### Вариант 2

1. Пользуясь таблицей электроотрицательностей элементов, определите степень ионности (%) следующих связей:  $\text{N}-\text{H}$ ,  $\text{Be}-\text{O}$ .

2. Укажите число неспаренных электронов в основном и возбужденном состояниях атома брома.

3. Определите число  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекуле пентахлорида фосфора.

4. Напишите название вещества, в молекулах которого электронные орбитали центрального атома имеют  $sp^2$ -гибридизацию:  $\text{SiH}_4$ ,  $\text{BF}_3$ ,  $\text{BeCl}_2$ ,  $\text{CCl}_4$ .

5. Какова пространственная конфигурация катиона оксония?

### Вариант 3

1. Пользуясь таблицей электроотрицательностей элементов, определите степень ионности (%) следующих связей:  $\text{Si}-\text{F}$ ,  $\text{B}-\text{O}$ .

2. Укажите число неспаренных электронов в основном и возбужденном состояниях атома фтора.

3. Определите число  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекуле хлорида бериллия.

4. Напишите название иона, в котором электронные орбитали центрального атома имеют  $sp^2$ -гибридизацию:  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{HS}^-$ .

5. Какова пространственная конфигурация молекулы аммиака?

### Вариант 4

1. Пользуясь таблицей электроотрицательностей элементов, определите степень ионности (%) следующих связей:  $\text{Al}-\text{F}$ ,  $\text{N}-\text{C}$ .

2. Укажите число неспаренных электронов в основном и возбужденном состояниях атома кислорода.

3. Определите число  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекуле сероводорода.

4. Напишите название вещества, в молекулах которого электронные орбитали центрального атома имеют  $sp$ -гибридизацию:  $\text{SiCl}_4$ ,  $\text{BF}_3$ ,  $\text{Be}(\text{CH}_3)_2$ ,  $\text{PF}_5$ .

5. Какова пространственная конфигурация катиона аммония?

### Вариант 5

1. Пользуясь таблицей электроотрицательностей элементов, определите степень ионности (%) следующих связей:  $\text{B}-\text{H}$ ,  $\text{C}-\text{O}$ .

2. Укажите число неспаренных электронов в основном и возбужденном состояниях атома серы.

3. Определите число  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекуле  $\text{N}_2$ .

4. Напишите название иона, в котором электронные орбитали центрального атома имеют  $sp^3$ -гибридизацию:  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{OH}^-$ .

5. Какова пространственная конфигурация молекулы воды?

### Вариант 6

1. Пользуясь таблицей электроотрицательностей элементов, определите степень ионности (%) следующих связей:  $\text{Si}-\text{Cl}$ ,  $\text{S}-\text{O}$ .

2. Укажите число неспаренных электронов в основном и возбужденном состояниях атома углерода.

3. Определите число  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекуле диоксида углерода.

4. Напишите название вещества, в молекулах которого электронные орбитали центрального атома имеют  $sp^3$ -гибридизацию:  $\text{BeCl}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{AsH}_3$ ,  $\text{SiH}_4$ .

5. Какова пространственная конфигурация нитрат-иона?

### Вариант 7

1. Пользуясь таблицей электроотрицательностей элементов, определите степень ионности (%) следующих связей:  $\text{P}-\text{F}$ ,  $\text{H}-\text{Cl}$ .

2. Укажите число неспаренных электронов в основном и возбужденном состояниях атома селена.

3. Определите число  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекуле воды.

4. Напишите название иона, в котором электронные орбитали центрального атома имеют  $sp^2$ -гибридизацию:  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{H}_3\text{O}^+$ .

5. Какова пространственная конфигурация молекулы сероводорода?

**Вариант 8**

1. Пользуясь таблицей электроотрицательностей элементов, определите степень ионности (%) следующих связей:  $\text{H}-\text{N}$ ,  $\text{Si}-\text{H}$ .

2. Укажите число неспаренных электронов в основном и возбужденном состояниях атома теллура.

3. Определите число  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекуле аммиака.

4. Напишите название вещества, в молекулах которого электронные орбитали центрального атома имеют  $sp^3d$ -гибридизацию:  $\text{BeCl}_2$ ,  $\text{PF}_5$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ .

5. Какова пространственная конфигурация диоксида углерода?

**Вариант 9**

1. Пользуясь таблицей электроотрицательностей элементов, определите степень ионности (%) следующих связей:  $\text{Be}-\text{F}$ ,  $\text{N}-\text{Cl}$ .

2. Укажите число неспаренных электронов в основном и возбужденном состояниях атома кремния.

3. Определите число  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекуле метана.

4. Напишите название иона, в котором электронные орбитали центрального атома имеют  $sp^3$ -гибридизацию:  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{HS}^-$ .

5. Какова пространственная конфигурация молекулы селеноводорода?

**Вариант 10**

1. Пользуясь таблицей электроотрицательностей элементов, определите степень ионности (%) следующих связей:  $\text{S}-\text{F}$ ,  $\text{Si}-\text{O}$ .

2. Укажите число неспаренных электронов в основном и возбужденном состояниях атома азота.

3. Определите число  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекуле фосфина.

4. Напишите название вещества, в молекулах которого электронные орбитали центрального атома имеют  $sp^3$ -гибридизацию:  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{H}_2\text{Se}$ ,  $\text{H}_2\text{Te}$ .

5. Какова пространственная конфигурация сульфат-иона?

**Вариант 11**

1. Пользуясь таблицей электроотрицательностей элементов, определите степень ионности (%) следующих связей:  $\text{B}-\text{F}$ ,  $\text{Mg}-\text{O}$ .

2. Укажите число неспаренных электронов в основном и возбужденном состояниях атома мышьяка.

3. Определите число  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в катионе аммония.
4. Напишите название вещества, в молекулах которого электронные орбитали центрального атома имеют  $sp^3$ -гибридизацию:  $\text{BeCl}_2$ ,  $\text{BF}_3$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{GeH}_4$ .
5. Какова пространственная конфигурация молекулы теллуридоводорода?

### Вариант 12

1. Пользуясь таблицей электроотрицательностей элементов, определите степень ионности (%) следующих связей:  $\text{Na}-\text{F}$ ,  $\text{S}-\text{H}$ .
2. Укажите число неспаренных электронов в основном и возбужденном состояниях атома фосфора.
3. Определите число  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекуле  $\text{P}_4$ .
4. Напишите название вещества, в молекулах которого электронные орбитали центрального атома имеют  $sp$ -гибридизацию:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{BCl}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ .
5. Какова пространственная конфигурация молекулы тетрафторида кремния?

### Вариант 13

1. Пользуясь таблицей электроотрицательностей элементов, определите степень ионности (%) следующих связей:  $\text{C}-\text{H}$ ,  $\text{Na}-\text{O}$ .
2. Укажите число неспаренных электронов в основном и возбужденном состояниях атома сурьмы.
3. Определите число  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекуле  $\text{S}_8$ .
4. Напишите название иона, в котором электронные орбитали центрального атома имеют  $sp^3$ -гибридизацию:  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{H}_3\text{O}^+$ ,  $\text{OH}^-$ .
5. Какова пространственная конфигурация молекулы фосфина?

### Вариант 14

1. Пользуясь таблицей электроотрицательностей элементов, определите степень ионности (%) следующих связей:  $\text{Al}-\text{Cl}$ ,  $\text{N}-\text{C}$ .
2. Укажите число неспаренных электронов в основном и возбужденном состояниях атома германия.
3. Определите число  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекуле  $\text{POCl}_3$ .
4. Напишите название вещества, в молекулах которого электронные орбитали центрального атома имеют  $sp^2$ -гибридизацию:  $\text{BeBr}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{BF}_3$ ,  $\text{SiH}_4$ .

5. Какова пространственная конфигурация молекулы тетрабромида кремния?

### Вариант 15

1. Пользуясь таблицей электроотрицательностей элементов, определите степень ионности (%) следующих связей: Ga—H, Si—O.

2. Укажите число неспаренных электронов в основном и возбужденном состояниях атома лития.

3. Определите число  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекуле гексафторида серы.

4. Напишите название вещества, в молекулах которого электронные орбитали центрального атома имеют  $sp^3$ -гибридизацию:  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $BF_3$ ,  $ZnCl_2$ .

5. Какова пространственная конфигурация молекулы арсина?

### Вариант 16

1. Пользуясь таблицей электроотрицательностей элементов, определите степень ионности (%) следующих связей: Be—Cl, Se—H.

2. Укажите число неспаренных электронов в основном и возбужденном состояниях атома бора.

3. Определите число  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекуле сероводорода.

4. Напишите название вещества, в молекулах которого электронные орбитали центрального атома имеют  $sp^3$ -гибридизацию:  $NH_3$ ,  $PH_3$ ,  $AsH_3$ ,  $SbH_3$ .

5. Какова пространственная конфигурация молекулы тетрахлорида германия?

### Вариант 17

1. Пользуясь таблицей электроотрицательностей элементов, определите степень ионности (%) следующих связей: S—H, B—Cl.

2. Укажите число неспаренных электронов в основном и возбужденном состояниях атома галлия.

3. Определите число  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекуле тетрахлорида углерода.

4. Напишите название вещества, в молекулах которого электронные орбитали центрального атома имеют  $sp$ -гибридизацию:  $H_2O$ ,  $ZnCl_2$ ,  $BCl_3$ ,  $SiH_4$ .

5. Какова пространственная конфигурация молекулы стибина?

**Вариант 18**

1. Пользуясь таблицей электроотрицательностей элементов, определите степень ионности (%) следующих связей: C—F, Se—O.

2. Укажите число неспаренных электронов в основном и возбужденном состояниях атома калия.

3. Определите число  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекуле  $\text{COCl}_2$ .

4. Напишите название вещества, в молекулах которого электронные орбитали центрального атома имеют  $sp^3$ -гибридизацию:  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{BeBr}_2$ ,  $\text{BCl}_3$ .

5. Какова пространственная конфигурация молекулы хлорида бериллия в парах?

**Вариант 19**

1. Пользуясь таблицей электроотрицательностей элементов, определите степень ионности (%) следующих связей: Mg—F, Te—H.

2. Укажите число неспаренных электронов в основном и возбужденном состояниях атома индия.

3. Определите число  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекуле силана.

4. Напишите название иона, в котором электронные орбитали центрального атома имеют  $sp^3$ -гибридизацию:  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{OH}^-$ .

5. Какова пространственная конфигурация молекулы метана?

**Вариант 20**

1. Пользуясь таблицей электроотрицательностей элементов, определите степень ионности (%) следующих связей: As—H, K—O.

2. Укажите число неспаренных электронов в основном и возбужденном состояниях атома олова.

3. Определите число  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекуле гидразина.

4. Напишите название вещества, в молекулах которого электронные орбитали центрального атома имеют  $sp$ -гибридизацию:  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{SiF}_4$ ,  $\text{Be}(\text{CH}_3)_2$ .

5. Какова пространственная конфигурация катиона аммония?

**Вариант 21**

1. Пользуясь таблицей электроотрицательностей элементов, определите степень ионности (%) следующих связей: Cl—F, P—O.

2. Укажите число неспаренных электронов в основном и возбужденном состояниях атома свинца.

3. Определите число  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекуле теллурида водорода.

4. Напишите название иона, в котором электронные орбитали центрального атома имеют  $sp^2$ -гибридизацию:  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ .

5. Какова пространственная конфигурация молекулы силана?

### Вариант 22

1. Пользуясь таблицей электроотрицательностей элементов, определите степень ионности (%) следующих связей:  $\text{Li}-\text{F}$ ,  $\text{S}-\text{Cl}$ .

2. Укажите число неспаренных электронов в основном и возбужденном состояниях атома гелия.

3. Определите число  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в катионе оксония.

4. Напишите название вещества, в молекулах которого электронные орбитали центрального атома имеют  $sp^3$ -гибридизацию:  $\text{NH}_3$ ,  $\text{BF}_3$ ,  $\text{CF}_4$ ,  $\text{H}_2\text{Se}$ .

5. Какова пространственная конфигурация молекулы тетрахлорида углерода?

### Вариант 23

1. Пользуясь таблицей электроотрицательностей элементов, определите степень ионности (%) следующих связей:  $\text{Be}-\text{H}$ ,  $\text{As}-\text{O}$ .

2. Укажите число неспаренных электронов в основном и возбужденном состояниях атома водорода.

3. Определите число  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекуле дифосфина.

4. Напишите название вещества, в молекулах которого электронные орбитали центрального атома имеют  $sp^3$ -гибридизацию:  $\text{BeBr}_2$ ,  $\text{CCl}_4$ ,  $\text{BF}_3$ ,  $\text{PH}_3$ .

5. Какова пространственная конфигурация молекулы германа?

### Вариант 24

1. Пользуясь таблицей электроотрицательностей элементов, определите степень ионности (%) следующих связей:  $\text{P}-\text{H}$ ,  $\text{Br}-\text{O}$ .

2. Укажите число неспаренных электронов в основном и возбужденном состояниях атома рубидия.



3. Определите число  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекуле пероксида водорода.

4. Напишите название вещества, в молекулах которого электронные орбитали центрального атома имеют  $sp^2$ -гибридизацию:  $H_2O$ ,  $NH_3$ ,  $BCl_3$ ,  $CCl_4$ .

5. Какова пространственная конфигурация молекулы тетрафторида углерода?

### Вариант 25

1. Пользуясь таблицей электроотрицательностей элементов, определите степень ионности (%) следующих связей:  $Mg-Cl$ ,  $Sb-Cl$ .

2. Укажите число неспаренных электронов в основном и возбужденном состояниях атома висмута.

3. Определите число  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекуле ацетилена.

4. Напишите название вещества, в молекуле которого имеется одна несвязывающая электронная пара:  $CH_4$ ,  $NH_3$ ,  $H_2O$ ,  $CO_2$ .

5. Какова пространственная конфигурация молекулы станнана?

### Вариант 26

1. Пользуясь таблицей электроотрицательностей элементов, определите степень ионности (%) следующих связей:  $Ge-O$ ,  $Na-H$ .

2. Укажите число неспаренных электронов в основном и возбужденном состояниях атома свинца.

3. Определите число  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекуле этилена.

4. Напишите название вещества, в молекулах которого электронные орбитали центрального атома имеют  $sp^3$ -гибридизацию:  $H_2Te$ ,  $NH_3$ ,  $PF_5$ ,  $CO_2$ .

5. Какова пространственная конфигурация молекулы бромида бериллия в парах?

### Вариант 27

1. Пользуясь таблицей электроотрицательностей элементов, определите степень ионности (%) следующих связей:  $P-Cl$ ,  $Li-O$ .

2. Укажите число неспаренных электронов в основном и возбужденном состояниях атома иода.

3. Определите число  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекуле триоксида серы.

4. Напишите название вещества, в молекуле которого имеются две несвязывающие электронные пары:  $NH_3$ ,  $H_2S$ ,  $SiF_4$ ,  $Be(CH_3)_2$ .

5. Каков тип гибридизации электронных орбиталей центрального атома в молекуле трифторида бора?

### Вариант 28

1. Пользуясь таблицей электроотрицательностей элементов, определите степень ионности (%) следующих связей:  $\text{H—I}$ ,  $\text{Ca—O}$ .

2. Укажите число неспаренных электронов в основном и возбужденном состояниях атома фосфора.

3. Определите число  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекуле тетрахлорида углерода.

4. Напишите название вещества, в молекуле которого имеются две несвязывающие электронные пары:  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ .

5. Каков тип гибридизации электронных орбиталей атома углерода в карбонат-ионе?

### Вариант 29

1. Пользуясь таблицей электроотрицательностей элементов, определите степень ионности (%) следующих связей:  $\text{H—Br}$ ,  $\text{Sb—O}$ .

2. Укажите число неспаренных электронов в основном и возбужденном состояниях атома магния.

3. Определите число  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекуле гидрида бериллия.

4. Напишите название иона, в котором электронные орбитали центрального атома имеют  $sp^3$ -гибридизацию:  $\text{H}_3\text{O}^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{SiF}_6^{2-}$ .

5. Какова пространственная конфигурация молекулы пентафторида фосфора?

### Вариант 30

1. Пользуясь таблицей электроотрицательностей элементов, определите степень ионности (%) следующих связей:  $\text{Pb—H}$ ,  $\text{Li—F}$ .

2. Укажите число неспаренных электронов в основном и возбужденном состояниях атома кальция.

3. Определите число  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекуле тетрафторида углерода.

4. Напишите название вещества, в молекулах которого электронные орбитали центрального атома имеют  $sp$ -гибридизацию:  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{BeCl}_2$ ,  $\text{SF}_6$ .

5. Какова пространственная конфигурация нитрат-иона?

## Глава 8

# Окислительно-восстановительные реакции

---

В результате успешного освоения материала этой главы студент должен:

- **знать:** степени окисления атомов наиболее распространенных химических элементов;
- **уметь:** составлять уравнения окислительно-восстановительных реакций методом электронного баланса и методом полуреакций, рассчитывать электродвижущую силу реакций, вычислять молярные массы эквивалентов окислителей и восстановителей;
- **владеть:** представлениями о влиянии концентраций потенциалопределяющих частиц на электродный потенциал.

**Изучите:** гл. 12 учебника.

**Повторите:** параграф 2.2 гл. 2, параграф 6.1 гл. 6 учебника.

---

### 8.1. Вопросы для подготовки к коллоквиуму

1. Какие реакции называются окислительно-восстановительными?
2. Что такое степень окисления?
3. Назовите химические элементы, проявляющие в сложных веществах единственную степень окисления, и укажите для них эту степень окисления.
4. Как можно вычислить самую высокую и самую низкую степень окисления элемента, исходя из его положения в периодической системе?
5. Назовите важнейшие окислители и восстановители.
6. Приведите примеры межмолекулярных и внутримолекулярных окислительно-восстановительных реакций.
7. Приведите примеры реакций диспропорционирования и компрпорционирования.
8. Как окислительно-восстановительный потенциал зависит от активностей потенциалопределяющих веществ?
9. Как определить направление протекания окислительно-восстановительной реакции?

## 8.2. Примеры решения задач

В этой главе объединены весьма разнообразные по содержанию и способам решения задачи.

### Задачи на составление уравнений окислительно-восстановительных реакций

Существует два основных подхода к составлению реакций этого типа: *метод электронного баланса* и *метод полу-реакций*. В обоих методах основополагающее значение имеет понятие *степень окисления*. Для расчета неизвестных степеней окисления пользуются правилами, приведенными в учебнике. Следует запомнить степени окисления наиболее распространенных элементов, проявляющих в сложных веществах единственную степень окисления.

Метод электронного баланса универсален. Его можно применять при составлении уравнений окислительно-восстановительных реакций, в которых участвуют газообразные, жидкие и твердые вещества. Процесс составления уравнения окислительно-восстановительной реакции методом электронного баланса распадается на следующие этапы:

1) записывают схему реакции (в левой части — химические формулы реагентов, в правой части — продуктов);

2) определяют, атомы каких элементов изменяют степени окисления;

3) составляют уравнения полуреакций окисления и восстановления для этих атомов;

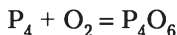
4) уравнивая число электронов, отданных атомом-восстановителем и принятых атомом-окислителем, определяют множители, которые записывают перед химическими формулами веществ окислителей и восстановителей в молекулярной форме уравнения окислительно-восстановительной реакции;

5) подбирают множители, которые стоят перед формулами остальных веществ, участвующих в реакции, таким образом, чтобы уравнение не противоречило закону сохранения массы.

#### Пример 8.1.

**Задача.** Пользуясь методом электронного баланса, составьте уравнение реакции сжигания фосфора при недостатке кислорода.

**Решение.** Работу начинаем с составления схемы реакции: слева от стрелки записываем химические формулы реагентов, справа от нее — химическую формулу продукта реакции.



Затем определяем степени окисления атомов. В простых веществах  $P_4$  и  $O_2$  степени окисления атомов равны нулю. Степень окисления фосфора в оксиде фосфора(III) можно вычислить, зная, что в соединениях степень окисления кислорода обычно равна  $-2$  и что сумма степеней окисления всех атомов, входящих в состав молекулы, равна нулю. Учитывая стехиометрические индексы в формуле  $P_4O_6$ , составляем уравнение:

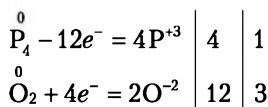
$$4x + 6(-2) = 0.$$

В этом уравнении буквой  $x$  обозначена искомая степень окисления фосфора. Умножая ее на 4 (число атомов фосфора в молекуле  $P_4O_6$ ), находим сумму степеней окисления всех атомов фосфора. Множитель  $6(-2)$  дает сумму степеней окисления шести атомов кислорода. Решая уравнение относительно  $x$ , получаем

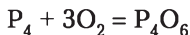
$$4x = 12; x = 3.$$

Итак, степень окисления фосфора в  $P_4O_6$  равна  $+3$ .

Зная степени окисления атомов, составляем схемы процессов окисления и восстановления:



Число электронов, отдаваемых атомами фосфора, должно равняться числу электронов, присоединяемых атомами кислорода. Этого можно добиться, если каждое из слагаемых схемы процесса окисления умножить на 4, т.е. на число электронов, принимаемых окислителем, а каждое из слагаемых схемы процесса восстановления умножить на 12, т.е. на число электронов, отдаваемых восстановителем. Множители обычно записывают справа от уравнений полуреакций, отделяя их вертикальной чертой. В данном случае оба множителя — числа, кратные четырем. После деления первоначальных множителей на 4 получаем множители 1 и 3. Множитель 3 записываем перед формулой молекулы кислорода, а множитель 1, который должен быть перед формулой молекулы белого фосфора, как обычно, не записываем:



Ответ.  $P_4 + 3O_2 = P_4O_6$

Главный недостаток метода электронного баланса заключается в том, что он не отражает реальную природу частиц, участвующих в окислительно-восстановительных реакциях в водных растворах. Как известно, в водных растворах электролиты распадаются на ионы, и поэтому во многих процессах с изменением степени окисления, протекающих в водных растворах, участвуют катионы и анионы, что не находит

отражения в методе электронного баланса. По этой причине для составления уравнений окислительно-восстановительных реакций, происходящих в водных растворах, рекомендуется использовать метод полуреакций, который называют также ионно-электронным методом. Основные этапы составления уравнения реакции этим методом следующие:

1) записывают левую часть схемы реакции (химические формулы реагентов) и определяют, какую роль (окислителя, восстановителя или среды) играет каждое из веществ в реакции;

2) составляют ионно-электронные уравнения полуреакций окисления и восстановления;

3) суммируют уравнения полуреакций, уравнивая число электронов, отданных ионом или молекулой вещества-восстановителя и принятых ионом или молекулой вещества-окислителя;

4) приписывают противоионы;

5) соединяя ионы в соответствии со знаком заряда, получают уравнение в молекулярной форме.

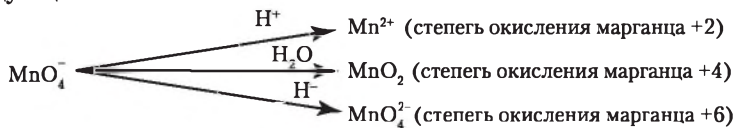
### Пример 8.2.

**Задача.** Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в молекулярной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:

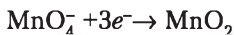


**Решение.** Составление уравнения окислительно-восстановительной реакции начинаем с определения ролей, которые приведенные в условиях задачи вещества играют в процессе окисления-восстановления.

Составляя уравнения реакций с участием перманганата калия, всегда нужно помнить, что *перманганат калия* — *сильный окислитель*, так как он содержит марганец в высшей степени окисления +7 и может только принимать электроны. При восстановлении перманганат-иона  $\text{MnO}_4^-$  образуются различные продукты в зависимости от того, в какой среде протекает реакция. В кислой среде он восстанавливается до катионов  $\text{Mn}^{2+}$ . В нейтральной и слабощелочной среде — до диоксида марганца  $\text{MnO}_2$ . В сильнощелочной среде образуется манганат-ион  $\text{MnO}_4^{2-}$ . Запоминание продуктов восстановления перманганат-иона облегчается при помощи следующей схемы:



По условиям задачи реакция происходит в нейтральной среде, следовательно, перманганат-ион восстанавливается до диоксида марганца. При этом степень окисления марганца уменьшается с +7 до +4, т.е. он принимает три электрона:



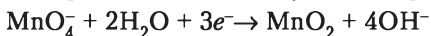
Для соблюдения закона сохранения вещества в левой и правой частях уравнения полуреакции должно быть одинаковое число атомов кислорода. В полученной же нами схеме реакции с левой стороны от стрелки имеется четыре атома кислорода, а с правой — два. Для связывания двух «лишних» атомов О в левой части схемы используют формальный подход, который заключается в предположении, что атомы кислорода в степени окисления –2 могут отщепляться от перманганат-иона и взаимодействовать с молекулами воды с образованием гидроксид-ионов:



Два «лишних» атома кислорода в степени окисления –2, взаимодействуя с двумя молекулами воды, дадут четыре гидроксид-иона:

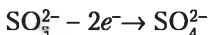


С учетом этого полуреакция восстановления перманганат-иона в нейтральной среде выглядит следующим образом:

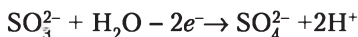


Если составление уравнений полуреакций вызывает затруднения, то можно воспользоваться готовыми полуреакциями, приведенными в прил. 6. Однако при этом следует помнить, что все уравнения в этой таблице описывают процессы восстановления. Если нужно получить уравнение полуреакции окисления, то табличное уравнение следует переписать таким образом, чтобы все формулы, находившиеся слева от стрелки, переместились в правую часть уравнения и, наоборот, все формулы, располагавшиеся справа от стрелки, оказались в левой части нового уравнения.

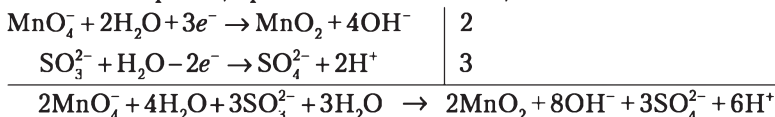
Восстановителем в данной реакции служит сульфит натрия, который содержит серу в промежуточной степени окисления +4 и, вообще говоря, может быть и окислителем, и восстановителем, но в данном конкретном случае, взаимодействуя с сильным окислителем — перманганатом калия, он будет окисляться, играя роль восстановителя. Сульфит-ион окисляется до сульфат-иона, содержащего серу в степени окисления +6:



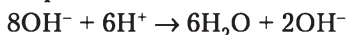
Чтобы уравнивать число атомов кислорода в левой и правой частях схемы, нужно оторвать один атом О от молекулы воды и присоединить его к сульфит-иону. После отрыва атома кислорода от молекулы воды останется два катиона водорода, которые запишем справа от стрелки:



Получив два уравнения полуреакций, сложим их, уравнивая числа электронов, отданных восстановителем и принятых окислителем. Для этого каждое из слагаемых полуреакции окисления умножаем на число электронов, отданных восстановителем, т.е. на 2, а каждое из слагаемых полуреакции восстановления — на число электронов, принятых окислителем, т.е. на 3:



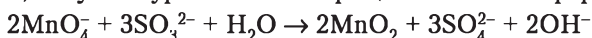
При сложении взаимно сократились  $+6e^-$  и  $-6e^-$ . В правой части уравнения одновременно присутствуют гидроксид-ионы и катионы водорода, которые в растворе обязательно прореагируют между собой с образованием воды:



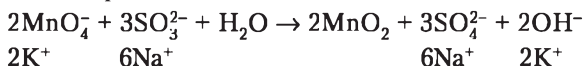
Так как гидроксид-ионов больше, то два из них останутся справа от стрелки. Для них не хватило катионов водорода. С учетом взаимодействия ионов  $\text{OH}^-$  и  $\text{H}^+$  и суммирования молекул воды слева от стрелки уравнение приобретает следующий вид:



Сокращая по шесть молекул воды в левой и правой частях уравнения, получаем уравнение в сокращенной ионной форме:



Для перехода к молекулярной форме нужно прибавить противоионы, т.е. ионы, противоположные по знаку заряда ионам, присутствующим в сокращенном ионном уравнении, и уравновешивающие их заряд:



Чтобы соблюдался закон сохранения вещества, в левой и правой частях уравнения должны находиться одинаковые количества каждого из противоионов. В данном случае слева и справа от стрелки имеется по два катиона калия и по шесть катионов натрия.

Соединяя ионы в соответствии с их зарядами, получаем уравнение в молекулярной форме:



Для проверки правильности составления уравнения рекомендуется подсчитать суммы атомов кислорода в его левой и правой частях. Если суммы равны, то уравнение составлено верно, так как соблюдается закон сохранения вещества по одному из наиболее распространенных в природе элементов — кислороду. В нашем



случае в левой и правой частях уравнения имеется по 18 атомов кислорода.

В условиях задач часто требуется подсчитать сумму стехиометрических коэффициентов. Этот расчет не имеет никакого химического смысла. Он лишь облегчает проверку задачи преподавателем. При подсчете суммы коэффициентов нужно помнить, что коэффициент 1 перед формулами веществ не пишут, однако его необходимо учитывать в расчете. Для составленного нами уравнения сумма стехиометрических коэффициентов равна 13 ( $2 + 3 + 1 + 2 + 3 + 2$ ).

*Ответ:* 13.

### Пример 8.3.

**Задача.** Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в молекулярной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:

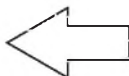


**Решение.** Приступая к составлению уравнения окислительно-восстановительной реакции, нужно прежде всего установить, какие роли играют в ней данные вещества. Перманганат калия — всегда окислитель. Его присутствие в условиях задачи облегчает работу: если в наличии имеется перманганат калия, то реагирующее с ним вещество, содержащее атомы элемента, который может изменять свою степень окисления, обязательно будет восстановителем. В данной задаче таким веществом является пероксид водорода  $\text{H}_2\text{O}_2$ , который содержит кислород в промежуточной степени окисления  $-1$ . Максимальная степень окисления кислорода в обычных условиях равна нулю. (В экзотическом соединении с фтором — фториде кислорода он может проявлять необычную степень окисления  $+2$ .) Минимальная степень окисления кислорода равна  $-2$ . Облегчить запоминание продуктов восстановления и окисления пероксида водорода позволяет приведенная ниже схема:

Продукты  
окисления

$\text{O}_2 + 2\text{H}^+$   
(в кислой  
и нейтральной  
средах)

Окисляется



$-2e^-$

$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$   
(в щелочной  
среде)

$\text{H}_2\text{O}_2$   
окис-  
литель  
и восста-  
новитель

Восстанавлива-  
ется



$+2e^-$

Продукты  
восстанов-  
ления

$2\text{OH}^-$   
(в щелочной  
и нейтральной  
средах)

$2\text{H}_2\text{O}$   
(в кислой  
среде)

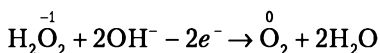
Итак, реагируя с перманганатом калия, пероксид водорода будет проявлять свойства восстановителя. Отдавая два электрона,

молекула  $\text{H}_2\text{O}_2$  отщепляет молекулу  $\text{O}_2$ , в которой степень окисления кислорода равна нулю.

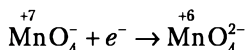
Так как реакция происходит в щелочной среде, которую создает присутствующий в условиях задачи гидроксид калия, выделившиеся при разрушении молекулы  $\text{H}_2\text{O}_2$  катионы водорода будут взаимодействовать с гидроксид-ионами с образованием молекул воды:



Поэтому при окислении одной молекулы пероксида водорода в щелочной среде выделяется одна молекула кислорода и образуется две молекулы воды:

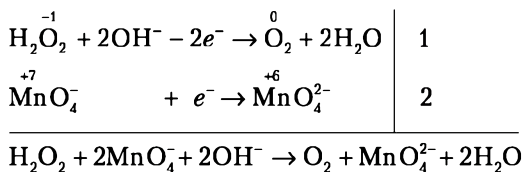


Перманганат-ион в щелочной среде восстанавливается до манганат-иона, присоединяя один электрон:

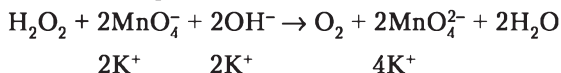


При этом степень окисления марганца уменьшается с +7 до +6.

Складываем полученные полуреакции, добиваясь равенства чисел электронов, отданных восстановителем и принятых окислителем:

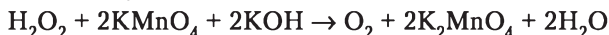


К полученному уравнению реакции в сокращенной ионной форме приписываем противоионы:



Обратите внимание на то, что числа катионов калия слева и справа от стрелки равны.

Соединяя ионы в соответствии со знаками зарядов, получаем уравнение в молекулярной форме:



Проверяем правильность составления уравнения реакции, подсчитывая суммы атомов кислорода слева и справа от стрелки. Они равны между собой и каждая из них равна 12.

Суммируем стехиометрические коэффициенты:  $1 + 2 + 2 + 1 + 2 + 2 = 10$ .

Ответ. 10.

**Пример 8.4.**

**Задача.** Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в молекулярной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:

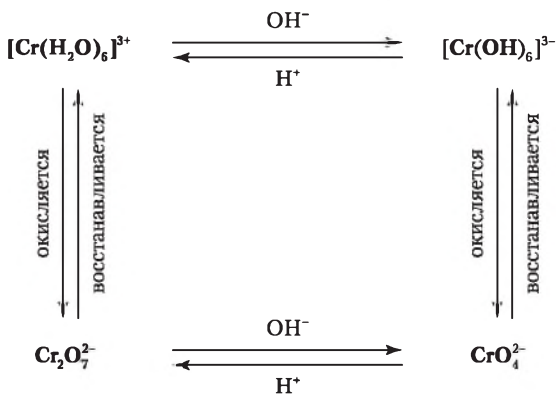


**Решение.** Прежде всего определяем, какие роли играют приведенные в условиях задачи вещества в данной окислительно-восстановительной реакции. Дихромат калия — окислитель, так как содержит хром в наивысшей для него степени окисления +6, равной номеру группы, в которую он входит в периодической системе элементов. Сероводород — восстановитель, потому что содержит серу в самой низкой для нее степени окисления, равной  $6 - 8 = -2$ , где 6 — номер группы, в которую входит сера. Серная кислота создает кислую среду. Входящие в ее состав элементы не изменяют в данной реакции своих степеней окисления.

Чтобы определить продукты восстановления дихромат-иона  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ , воспользуемся приведенной ниже схемой:

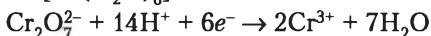
Кислая среда

Щелочная среда



В водных растворах устойчивы две степени окисления хрома: +3 и +6. В этих степенях окисления хром образует разные соединения в зависимости от реакции среды. В кислой среде хром в степени окисления +3 присутствует в виде аквакатиона  $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ , который для простоты чаще всего обозначают как  $\text{Cr}^{3+}$ . В щелочной среде, оставаясь в этой же степени окисления, он образует гексагидрохсохромат(III)-ион  $[\text{Cr}(\text{OH})_6]^{3-}$ , который для простоты часто обозначают формулой  $\text{CrO}_2^-$  и называют хромит-ионом. Между этими соединениями хрома существует кислотно-основное равновесие. Если на  $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$  подействовать щелочью, то он превратится в  $[\text{Cr}(\text{OH})_6]^{3-}$ , и наоборот, если на  $[\text{Cr}(\text{OH})_6]^{3-}$  подействовать кислотой, то образуется  $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ . Находясь в степени

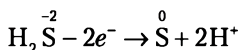
окисления +6, хром в кислой среде образует дихромат-ион  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ , а в щелочной среде — хромат-ион  $\text{CrO}_4^{2-}$ . Между этими анионами также существует кислотно-основное равновесие. Хромат-ион в щелочной среде восстанавливается до  $[\text{Cr}(\text{OH})_6]^{3-}$ . Дихромат-ион в кислой среде восстанавливается до  $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ . Эта полуреакция и нужна для решения нашей задачи. Запишем ее в упрощенном виде, т.е. реально существующие в растворе комплексные катионы  $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$  обозначим как  $\text{Cr}^{3+}$ :



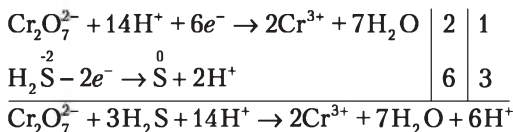
Степень окисления каждого из атомов хрома уменьшается при восстановлении с +6 до +3, т.е. каждый из двух атомов принимает по три электрона. Так как в дихромат-ионе содержится два атома хрома, то общее число электронов, принятых этим ионом, равно  $2 \cdot 3 = 6$ .

Четырнадцать катионов водорода добавлены в левую часть полуреакции, чтобы связать атомы кислорода в степени окисления  $-2$ , выделяющиеся при превращении дихромат-иона  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  в катионы  $\text{Cr}^{3+}$ . Число анионов  $\text{O}^{2-}$  равно семи. В кислой среде оксид-ионы, соединяясь с катионами водорода, превращаются в молекулы воды, поэтому в правой части уравнения появляются семь молекул  $\text{H}_2\text{O}$ .

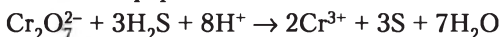
Сероводород, окисляясь, превращается в элементарную серу, при этом образуются два катиона водорода:



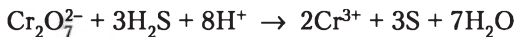
Просуммируем полуреакции, уравнивая числа электронов, отданные восстановителем и принятые окислителем. Поскольку оба множителя представляли собой четные числа, мы сокращаем их на два:



Левая и правая части уравнения содержат однородные члены — катионы водорода, поэтому сокращаем их на  $6\text{H}^+$ . После сокращения однородных членов получаем уравнение реакции в сокращенной ионной форме:



приписываем противоионы:



Положительный заряд восьми катионов водорода в левой части уравнения уравнивают четыре сульфат-иона  $\text{SO}_4^{2-}$ , заряд каждого из которых равен  $-2$ , а суммарный заряд составляет

$4 \cdot (-2) = -8$ . Такое же число сульфат-ионов должно появиться и в правой части уравнения. Три из них уравнивают заряд двух катионов хрома  $\text{Cr}^{3+}$ , а еще один — положительные заряды катионов калия, которые слева от стрелки играли роль противоионов для  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ . Соединяя ионы в соответствии с зарядами, получаем уравнение реакции в молекулярной форме:



Слева и справа от стрелки имеется по 23 атома кислорода, что свидетельствует о соблюдении закона сохранения вещества. Сумма стехиометрических коэффициентов равна 20 ( $1 + 3 + 4 + 1 + 3 + 1 + 7$ ).

Ответ: 20.

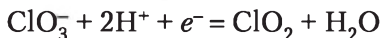
Как правило, наибольшие трудности при составлении уравнений полуреакций возникают в тех случаях, когда число атомов кислорода в ионах, присутствующих в левой и правой частях уравнения, не совпадают. При этом возникает необходимость добавить недостающие или связать «лишние» атомы кислорода в левой части уравнения. Для облегчения работы полезно запомнить следующие правила:

1) чтобы добавить или связать атомы кислорода в степени окисления  $-2$ , следует в первую очередь использовать те частицы, которые определяют реакцию среды. В кислой среде это катионы водорода  $\text{H}^+$ , в нейтральной среде — молекулы воды  $\text{H}_2\text{O}$ , в щелочной среде — гидроксид-ионы  $\text{OH}^-$ . Если при помощи этих ионов не удастся выполнить поставленную задачу, то можно в любой среде воспользоваться молекулами воды, так как метод полуреакций применим главным образом к водным растворам, в которых вода всегда присутствует в избытке;

2) если исходные ионы содержат больше кислорода, чем образующиеся, то «лишний» кислород в форме  $\text{O}^{2-}$  в кислой среде связывается катионами водорода  $\text{H}^+$  с образованием молекул воды:



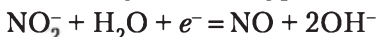
Примером использования такого приема служит полуреакция восстановления хлорат-иона до диоксида хлора:



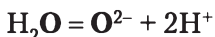
3) в нейтральной и щелочной среде «лишний» кислород связывается молекулами воды с образованием гидроксид-ионов:



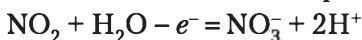
Например, восстановление нитрит-иона до монооксида азота можно описать следующей полуреакцией:



4) если в исходных ионах или молекулах атомов кислорода меньше, чем в образующихся, то в нейтральной и кислой среде «недостающий» атом кислорода в степени окисления  $-2$  в левой части уравнения реакции берут из молекулы воды, при этом в правой части уравнения появляется два катиона водорода:



(в этом уравнении буквой **O** обозначен атом кислорода, который в левой части уравнения отрывают от молекулы воды и присоединяют к другой частице, появляющейся в правой части уравнения). Примером такого подхода служит полуреакция окисления диоксида азота до нитрат-иона:



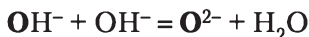
5) в щелочной среде «недостающий» атом кислорода в степени окисления  $-2$  в левой части уравнения реакции берут из состава гидроксид-иона, при этом должен освободиться катион водорода:



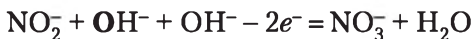
но в щелочной среде он непременно присоединится еще к одному гидроксид-иону:



Суммируя эти уравнения, получаем новое уравнение, которое говорит, что для присоединения «недостающего» атома кислорода в щелочной среде в левую часть уравнения реакции нужно добавить два гидроксид-иона, при этом в правой части уравнения появляется молекула воды:



Примером полуреакции, в которой используется этот прием, служит полуреакция окисления нитрит-иона до нитрат-иона в щелочной среде:



### **Задачи на расчет молярной массы эквивалента окислителя или восстановителя**

В окислительно-восстановительных реакциях химическим эквивалентом называют реальную или условную частицу, которая эквивалентна одному электрону.

**Пример 8.5.**

**Задача.** Какая частица является эквивалентом восстановителя в реакции, рассмотренной в примере 8.3?

**Решение.** В примере 8.3 восстановителем служит пероксид водорода. Каждая молекула  $\text{H}_2\text{O}_2$  отдает два электрона. Следовательно, одному электрону эквивалентна условная частица  $1/2$  молекулы  $\text{H}_2\text{O}_2$ .

**Ответ.**  $1/2$  молекулы  $\text{H}_2\text{O}_2$ .

**Пример 8.6.**

**Задача.** Какая частица является эквивалентом окислителя в реакции, рассмотренной в примере 8.2?

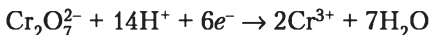
**Решение.** В примере 8.2 окислителем служит перманганат калия  $\text{KMnO}_4$ . Это кристаллическое вещество, кристаллы которого состоят не из молекул, а из чередующихся в определенном порядке катионов калия  $\text{K}^+$  и перманганат-ионов  $\text{MnO}_4^-$ . Для кристаллических веществ, не обладающих молекулярной структурой, вводится понятие формульной единицы. Формульная единица перманганата калия, описываемая формулой  $\text{KMnO}_4$ , состоит из одного катиона калия и одного перманганат-иона. Так как каждый перманганат-ион принимает в данной реакции три электрона, то одному электрону эквивалентна условная частица  $1/3$  формульной единицы  $\text{KMnO}_4$ .

**Ответ:**  $1/3$  формульной единицы  $\text{KMnO}_4$ .

**Пример 8.7.**

**Задача.** Вычислите молярную массу эквивалента окислителя в реакции, рассмотренной в примере 8.4.

**Решение.** Окислителем в этой реакции служит дихромат калия. Каждый дихромат-ион, восстанавливаясь, принимает шесть электронов:



Следовательно, эквивалентом дихромата калия является условная частица —  $1/6$  формульной единицы  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , а фактор эквивалентности для дихромата калия равен  $1/6$ . Молярная масса эквивалента дихромата калия равна произведению фактора эквивалентности на молярную массу этого вещества:

$$M(1/6 \text{ K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = f_{\text{экв}}(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) \cdot M(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7).$$

Подставляя числовые значения, получаем

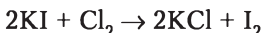
$$M(1/6 \text{ K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 1/6 \cdot 294 = 49 \text{ г/моль}.$$

**Ответ.** 49 г/моль.

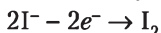
**Пример 8.8.**

**Задача.** Вычислите молярную массу эквивалента восстановителя в реакции окисления иодида калия хлорной водой.

**Решение.** Эта реакция описывается уравнением



Восстановителем в ней служит иодид калия. Полуреакция окисления иодид-ионов выглядит следующим образом:

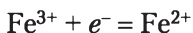


Несмотря на то что в уравнении фигурируют два электрона, каждый иодид-ион отдает один электрон. Следовательно, эквивалент иодида калия — это формульная единица KI, состоящая из одного катиона калия и одного иодид-иона. Фактор эквивалентности  $f_{\text{экв}}(\text{KI}) = 1$ . Молярная масса эквивалента иодида калия равна его молярной массе, т.е. 166 г/моль.

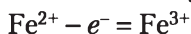
*Ответ.* 166 г/моль.

### **Задачи на расчет электродвижущей силы окислительно-восстановительной реакции**

Электродвижущую силу (ЭДС) реакции рассчитывают как разность стандартных окислительно-восстановительных потенциалов окислителя  $E^0_{\text{окисл}}$  и восстановителя  $E^0_{\text{восст}}$ , числовые значения которых можно найти в прил. 6. В этой таблице полуреакции объединены в группы. Каждая группа описывает системы, включающие в себя соединения одного и того же элемента в двух разных степенях окисления. Название элемента с переменными степенями окисления написано над группой полуреакций. Группы расположены в алфавитном порядке в соответствии с названиями элементов: таблица начинается с полуреакций, в которых участвуют соединения азота, и завершается полуреакциями, в которых меняются степени окисления цинка. Полуреакции, приведенные в таблице стандартных окислительно-восстановительных потенциалов, характеризуют системы, в которых активность каждого компонента, оказывающего влияние на величину потенциала, равна 1 моль/л. Знак и числовое значение стандартного окислительно-восстановительного потенциала не зависят от способа записи полуреакции. Например, в прил. 6 приведена полуреакция



для которой стандартный окислительно-восстановительный потенциал имеет положительное значение, равное 0,771 В. Если эту полуреакцию записать по-другому, меняя местами окисленную и восстановленную формы железа:



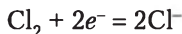
то  $E^0$  для нее не изменится и будет равным, как и прежде, 0,771 В.



**Пример 8.9.**

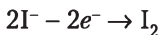
**Задача.** Вычислите ЭДС для реакции, рассмотренной в примере 8.8.

**Решение.** В приведенной в предыдущем примере реакции окислителем служит молекулярный хлор, а восстановителем — иодид-ион. В группе полуреакций под заголовком «Хлор» находим полуреакцию, описывающую восстановление молекулярного хлора до хлорид-ионов:

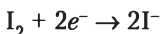


Значение стандартного окислительно-восстановительного потенциала для системы, описываемой этой полуреакцией,  $E^0_{\text{окисл}} = 1,359 \text{ В}$ .

Окисление иодид-ионов до элементного иода описывается полуреакцией



Однако под заголовком «Иод» можно найти только полуреакцию, записанную в противоположном направлении, т.е. полуреакцию восстановления элементного иода до иодид-ионов:



Так как обе полуреакции описывают одну и ту же химическую систему: раствор, в котором активности молекулярного иода и иодид-ионов равны 1 моль/л, то значение стандартного окислительно-восстановительного потенциала не зависит от формы записи уравнения и для обеих полуреакций:

$$E^0_{\text{восст}} = 0,536 \text{ В}.$$

ЭДС равна разности стандартных окислительно-восстановительных потенциалов окислителя и восстановителя:

$$\text{ЭДС} = E^0_{\text{окисл}} - E^0_{\text{восст}}.$$

Подставляем в это уравнение найденные числовые значения потенциалов:

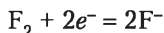
$$\text{ЭДС} = 1,359 - 0,536 = 0,823 \text{ В}.$$

**Ответ.** 0,823 В.

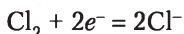
**Пример 8.10.**

**Задача.** Пользуясь значениями стандартных окислительно-восстановительных потенциалов, определите, каким из галогенов нельзя окислить катион  $\text{Fe}^{2+}$ .

**Решение.** В прил. 6 находим числовые значения стандартных окислительно-восстановительных потенциалов для полуреакций восстановления галогенов до соответствующих галогенид-ионов:



$$E^0_{\text{окисл}} = 2,87 \text{ В};$$



$$E^0_{\text{окисл}} = 1,359 \text{ В};$$



В том же прил. 6 находим числовое значение стандартного окислительно-восстановительного потенциала для полуреакции окисления катиона  $\text{Fe}^{2+}$  до  $\text{Fe}^{3+}$ :



Без расчета очевидно, что электродвижущая сила реакции, найденная как разность  $E^0_{\text{окисл}}$  и  $E^0_{\text{восст}}$ , принимает положительные значения при окисления катиона  $\text{Fe}^{2+}$  фтором, хлором и бромом. Следовательно, этими галогенами можно окислить  $\text{Fe}^{2+}$  до  $\text{Fe}^{3+}$ . Если же вычислить ЭДС реакции окисления катиона железа(II), исходя из предположения, что окислителем может служить элементный иод, то получим отрицательное значение этой величины. Значит, катион  $\text{Fe}^{2+}$  невозможно окислить элементарным иодом.

*Ответ.* Нельзя окислить иодом.

### Задачи на расчеты с использованием уравнения Нернста

Стандартные окислительно-восстановительные потенциалы характеризуют системы, находящиеся в стандартных условиях, т.е. при температуре 298,15 К (25°С) и при активностях всех потенциалопределяющих веществ, равных 1 моль/л. Понятно, что при других температурах и других активностях (концентрациях) веществ значения потенциалов будут отличаться от тех, что приведены в прил. 6. Если стандартные потенциалы для двух систем достаточно близки, то при больших отличиях реальных значений потенциала от стандартных может происходить даже изменение направления протекания реакции, т.е. окислитель и восстановитель могут поменяться местами.

Рассчитать числовое значение окислительно-восстановительного потенциала в условиях, отличных от стандартных, позволяет уравнение Нернста:

$$E = E^0 + \frac{2,3RT}{nF} \lg \frac{Pa_{\text{окисл}}}{Pa_{\text{восст}}},$$

где  $E$  — окислительно-восстановительный потенциал при произвольных условиях;  $E^0$  — стандартный окислительно-восстановительный потенциал (из прил. 6);  $R$  — универсальная газовая постоянная, равная 8,31 Дж/моль · К;  $T$  — температура, К;  $n$  — число электронов, принимаемых окисленной формой при превращении ее в восстановленную

форму;  $F$  — постоянная Фарадея, равная  $9,65 \cdot 10^4$  Кл/моль;  $Pa_{\text{окисл}}$  — произведение активностей окисленной формы и всех ионов и молекул, записываемых вместе с этой формой в левой части уравнения полуреакции;  $Pa_{\text{восст}}$  — произведение активностей восстановленной формы и всех ионов и молекул, записываемых вместе с этой формой в правой части уравнения полуреакции.

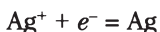
Все эти обозначения относятся к форме записи полуреакции, рекомендованной ИЮПАК, в соответствии с которой все полуреакции записывают как полуреакции восстановления, т.е. в левой части уравнения — окисленную форму, а в правой части уравнения — восстановленную форму.

Активность растворителя — воды — принимают равной единице и не записывают ее в уравнение Нернста.

### Пример 8.11.

**Задача.** Вычислите электродный потенциал серебра в 0,05%-м растворе сульфата серебра. Плотность раствора принять равной 1 г/мл.

**Решение.** В условиях задачи речь идет о гетерогенной системе, состоящей из металлического серебра и водного раствора соли этого металла. В результате электролитической диссоциации сульфата серебра в растворе присутствуют катионы  $Ag^+$ . Эту систему описывает полуреакция



Активность твердой фазы в гетерогенной системе принимают равной единице. В данной системе твердая фаза — это металлическое серебро, поэтому потенциал электрода будет зависеть только от активности катионов серебра, находящихся в растворе.

Катионы  $Ag^+$  — окисленная форма. Их активность должна присутствовать в числителе дроби, стоящей под знаком логарифма в уравнении Нернста. Металлическое серебро — восстановленная форма. Его активность следовало бы записать в знаменателе этой дроби, но так как она равна единице, ее не записывают вовсе.

С учетом всего сказанного выше уравнение Нернста для рассматриваемой системы приобретает следующий вид:

$$E = E^0 + \frac{2,3RT}{nF} \lg a(Ag^+).$$

Подставив в предлогарифмический множитель числовые значения постоянных  $R$  и  $F$ , а также температуры  $T = 298,15$  К и проведя арифметические действия, получаем

$$\frac{2,3RT}{nF} = \frac{2,3 \cdot 8,31 \cdot 298,15}{1 \cdot 9,65 \cdot 10^4} = \frac{0,059}{1}.$$

Единица, присутствующая в знаменателе дроби, — это число электронов, принимаемых окисленной формой (катионом серебра) при ее превращении в восстановленную форму (атом серебра).

Если концентрации потенциалопределяющих веществ невелики, то можно пренебречь отличием активности от концентрации и заменить в уравнении Нернста входящие в него активности на концентрации. Следует обратить внимание на то, что под знаком логарифма в уравнении Нернста должны быть молярные концентрации. В данной задаче состав раствора выражен массовой долей сульфата серебра, поэтому нужно осуществить переход от массовой доли к молярной концентрации. Для этого запишем уравнения для обоих способов выражения состава раствора:

$$c(\text{Ag}_2\text{SO}_4) = \frac{m(\text{Ag}_2\text{SO}_4)}{M(\text{Ag}_2\text{SO}_4)V} 1000; \quad \omega(\text{Ag}_2\text{SO}_4) = \frac{m(\text{Ag}_2\text{SO}_4)}{V\rho} 100.$$

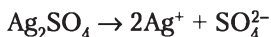
При помощи преобразований, рассмотренных в примере 3.12, получаем

$$c(\text{Ag}_2\text{SO}_4) = \frac{10\omega(\text{Ag}_2\text{SO}_4)\rho}{M(\text{Ag}_2\text{SO}_4)}.$$

Подставив в это уравнение числовые значения входящих в него величин и произведя расчеты, находим молярную концентрацию сульфата серебра:

$$c(\text{Ag}_2\text{SO}_4) = \frac{10 \cdot 0,05 \cdot 1}{312} = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л.}$$

Из уравнения реакции электролитической диссоциации сульфата серебра очевидно, что из 1 моль соли образуется 2 моль катионов серебра:



В соответствии с этим уравнением можно утверждать, что концентрация катионов  $\text{Ag}^+$  в растворе в 2 раза больше, чем молярная концентрация растворенной соли  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$ :

$$c(\text{Ag}^+) = 2c(\text{Ag}_2\text{SO}_4) = 2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-3} = 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л.}$$

Так как концентрация катионов серебра невелика, можно пренебречь отличием активности от концентрации и подставить найденное числовое значение  $c(\text{Ag}^+)$  в уравнение Нернста:

$$E = 0,799 + 0,059 \lg(3,2 \cdot 10^{-3}) = 0,799 - 0,147 = 0,652 \text{ В.}$$

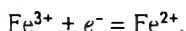
Числовое значение стандартного электродного потенциала  $E^0 = 0,799 \text{ В}$  найдено в прил. 6.

Ответ. 0,652 В.

### Пример 8.12.

**Задача.** Вычислите окислительно-восстановительный потенциал инертного электрода в растворе, содержащем 0,02 моль/л  $\text{Fe}^{2+}$  и 0,01 моль/л  $\text{Fe}^{3+}$ .

*Решение.* На поверхности инертного, например, платинового электрода катионы железа могут обмениваться электронами в соответствии с полуреакцией



В результате этого инертный электрод приобретает потенциал, числовое значение которого вычисляем при помощи уравнения Нернста:

$$E = E^0 + \frac{2,3RT}{nF} \lg \frac{a(\text{Fe}^{3+})}{a(\text{Fe}^{2+})}.$$

(В данной в условиях задачи системе окисленная форма — катион  $\text{Fe}^{3+}$ , восстановленная форма — катион  $\text{Fe}^{2+}$ .) Подставляя в уравнение Нернста числовые значения входящих в него величин, получаем

$$E = 0,771 + \frac{0,059}{1} \lg \frac{0,01}{0,02} = 0,771 - 0,018 = 0,753 \text{ В.}$$

*Ответ.* 0,753 В.

### 8.3 Индивидуальные задания

#### Вариант 1

1. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в сокращенной ионной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



2. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в молекулярной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



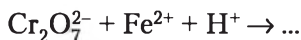
3. Рассчитайте молярную массу эквивалента окислителя в реакции, приведенной в задаче 2 варианта 1.

4. Пользуясь значениями стандартных электродных потенциалов, определите ЭДС реакции, приведенной в задаче 2 варианта 1.

5. Вычислите электродный потенциал железа в 0,02%-м растворе сульфата железа(II). Плотность раствора принять равной 1 г/мл.

#### Вариант 2

1. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в сокращенной ионной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



2. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение в молекулярной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



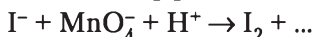
3. Определите молярную массу эквивалента окислителя в реакции, приведенной в задаче 1 варианта 2.

4. Пользуясь значениями стандартных электродных потенциалов, определите ЭДС реакции, приведенной в задаче 1 варианта 2.

5. Рассчитайте электродный потенциал цинка в 1%-м растворе сульфата цинка. Плотность раствора принять равной 1 г/мл.

### Вариант 3

1. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в сокращенной ионной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



2. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в молекулярной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



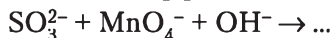
3. Рассчитайте молярную массу эквивалента восстановителя в реакции, приведенной в задаче 2 варианта 3.

4. Пользуясь значениями стандартных электродных потенциалов, определите, каким из галогенов невозможно окислить в водном растворе манганат-ион.

5. Рассчитайте окислительно-восстановительный потенциал инертного электрода в растворе, содержащем 0,02 моль/л катионов  $\text{Fe}^{2+}$  и 0,01 моль/л катионов  $\text{Fe}^{3+}$ .

### Вариант 4

1. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в сокращенной ионной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



2. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в молекулярной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



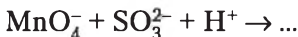
3. Определите молярную массу эквивалента окислителя в реакции, приведенной в задаче 2 варианта 4.

4. Пользуясь значениями стандартных электродных потенциалов и принимая во внимание, что в кислой среде  $\text{ClO}^-$  превращается в  $\text{HClO}$ , рассчитайте ЭДС реакции, приведенной в задаче 2 варианта 4.

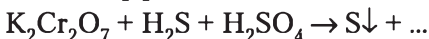
5. Определите электродный потенциал меди в 0,1%-м растворе сульфата меди(II). Плотность раствора принять равной 1 г/мл.

### Вариант 5

1. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в сокращенной ионной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



2. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в молекулярной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



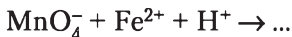
3. Определите молярную массу эквивалента восстановителя в реакции, приведенной в задаче 2 варианта 5.

4. Пользуясь значениями стандартных электродных потенциалов, рассчитайте ЭДС реакции, приведенной в задаче 2 варианта 5.

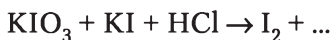
5. Определите электродный потенциал свинца в 0,1%-м растворе нитрата свинца. Плотность раствора принять равной 1 г/мл.

### Вариант 6

1. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в сокращенной ионной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



2. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение в молекулярной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



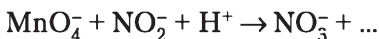
3. Определите молярную массу эквивалента восстановителя в реакции, приведенной в задаче 2 варианта 6.

4. Пользуясь значениями стандартных электродных потенциалов, рассчитайте ЭДС реакции, приведенной в задаче 2 варианта 6.

5. Рассчитайте окислительно-восстановительный потенциал инертного электрода в растворе, содержащем 0,06 моль/л анионов  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$  и 0,02 моль/л анионов  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ .

### Вариант 7

1. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в сокращенной ионной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



2. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в молекулярной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



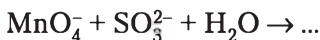
3. Вычислите молярную массу эквивалента окислителя в реакции, приведенной в задаче 2 варианта 7.

4. Пользуясь значениями стандартных электродных потенциалов и принимая во внимание, что в кислой среде  $\text{NO}_2^-$  превращается в  $\text{HNO}_2$ , вычислите ЭДС реакции, приведенной в задаче 1 варианта 7.

5. Вычислите электродный потенциал железа в 2%-м растворе сульфата железа(II). Плотность раствора принять равной 1 г/мл.

### Вариант 8

1. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в сокращенной ионной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



2. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в молекулярной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



3. Вычислите молярную массу эквивалента восстановителя в реакции, приведенной в задаче 2 варианта 8.

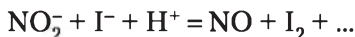
4. Пользуясь значениями стандартных электродных потенциалов, вычислите ЭДС реакции, приведенной в задаче 2 варианта 8.

5. В 500 мл раствора содержится 15,48 г сульфата никеля. Вычислите электродный потенциал никеля в этом растворе.

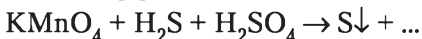


**Вариант 9**

1. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в сокращенной ионной форме и подсчитайте сумму его стехиометрических коэффициентов:



2. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в молекулярной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



3. Вычислите молярную массу эквивалента восстановителя в реакции, приведенной в задаче 2 варианта 9.

4. Пользуясь значениями стандартных электродных потенциалов, вычислите ЭДС реакции, приведенной в задаче 2 варианта 9.

5. Вычислите окислительно-восстановительный потенциал инертного электрода в растворе, содержащем 0,20 моль/л катионов  $\text{Fe}^{2+}$  и 0,10 моль/л катионов  $\text{Fe}^{3+}$ .

**Вариант 10**

1. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в сокращенной ионной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



2. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в молекулярной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



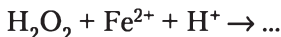
3. Вычислите молярную массу эквивалента окислителя в реакции, приведенной в задаче 1 варианта 10

4. Пользуясь значениями стандартных электродных потенциалов, вычислите ЭДС реакции, приведенной в задаче 1 варианта 10

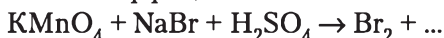
5. Вычислите электродный потенциал серебра в 0,1%-м растворе нитрата серебра. Плотность раствора принять равной 1 г/мл.

**Вариант 11**

1. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в сокращенной ионной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



2. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в молекулярной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



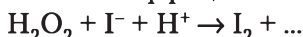
3. Вычислите молярную массу эквивалента восстановителя в реакции, приведенной в задаче 2 варианта 11.

4. Пользуясь значениями стандартных электродных потенциалов, вычислите ЭДС реакции, приведенной в задаче 2 варианта 11.

5. Вычислите электродный потенциал цинка в 0,5%-м растворе нитрата цинка. Плотность раствора принять равной 1 г/мл.

### Вариант 12

1. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в сокращенной ионной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



2. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в молекулярной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



3. Вычислите молярную массу эквивалента восстановителя в реакции, приведенной в задаче 2 варианта 12.

4. Пользуясь значениями стандартных электродных потенциалов и принимая во внимание, что в кислой среде  $\text{NO}_2^-$  превращается в  $\text{HNO}_2$ , вычислите ЭДС реакции, приведенной в задаче 2 варианта 12.

5. Вычислите окислительно-восстановительный потенциал инертного электрода в растворе, содержащем 0,12 моль/л анионов  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$  и 0,06 моль/л анионов  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ .

### Вариант 13

1. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в сокращенной ионной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



2. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в молекулярной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



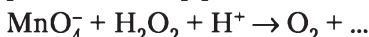
3. Вычислите молярную массу эквивалента окислителя в реакции, приведенной в задаче 2 варианта 13.

4. Пользуясь значениями стандартных электродных потенциалов, вычислите ЭДС реакции, приведенной в задаче 2 варианта 13.

5. Вычислите электродный потенциал кадмия в 0,2%-м растворе сульфата кадмия. Плотность раствора принять равной 1 г/мл.

#### Вариант 14

1. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в сокращенной ионной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



2. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в молекулярной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



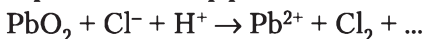
3. Определите молярную массу эквивалента восстановителя в реакции, приведенной в задаче 2 варианта 14.

4. Пользуясь значениями стандартных электродных потенциалов, вычислите ЭДС реакции, приведенной в задаче 2 варианта 14.

5. Рассчитайте электродный потенциал ртути в 2%-м растворе нитрата ртути(II). Плотность раствора принять равной 1 г/мл.

#### Вариант 15

1. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в сокращенной ионной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



2. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в молекулярной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



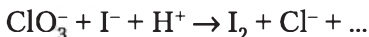
3. Определите молярную массу эквивалента восстановителя в реакции, приведенной в задаче 2 варианта 15.

4. Пользуясь значениями стандартных электродных потенциалов, вычислите ЭДС реакции, приведенной в задаче 2 варианта 15.

5. Рассчитайте электродный потенциал серебра в 0,2%-м растворе нитрата серебра. Плотность раствора принять равной 1 г/мл.

**Вариант 16**

1. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в сокращенной ионной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



2. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в молекулярной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



3. Определите молярную массу эквивалента окислителя в реакции, приведенной в задаче 2 варианта 16.

4. Пользуясь значениями стандартных электродных потенциалов, вычислите ЭДС реакции, приведенной в задаче 2 варианта 16.

5. Рассчитайте электродный потенциал кобальта в 0,1 М растворе сульфата кобальта(II).

**Вариант 17**

1. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в сокращенной ионной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



2. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в молекулярной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



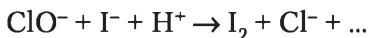
3. Определите молярную массу эквивалента восстановителя в реакции, приведенной в задаче 2 варианта 17.

4. Пользуясь значениями стандартных электродных потенциалов, вычислите ЭДС реакции, приведенной в задаче 2 варианта 17.

5. Рассчитайте электродный потенциал серебра в 0,5%-м растворе сульфата серебра. Плотность раствора принять равной 1 г/мл.

**Вариант 18**

1. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в сокращенной ионной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



2. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в молекулярной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



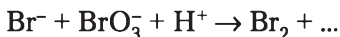
3. Определите молярную массу эквивалента восстановителя в реакции, приведенной в задаче 2 варианта 18.

4. Пользуясь значениями стандартных электродных потенциалов, вычислите ЭДС реакции, приведенной в задаче 2 варианта 18.

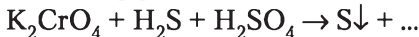
5. В 975 г воды растворили 25 г медного купороса. Рассчитайте электродный потенциал меди в этом растворе. Плотность раствора принять равной 1 г/мл.

### Вариант 19

1. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в сокращенной ионной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



2. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в молекулярной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



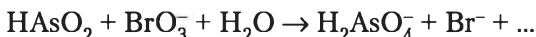
3. Определите молярную массу эквивалента восстановителя в реакции, приведенной в задаче 2 варианта 19.

4. Пользуясь значениями стандартных электродных потенциалов, вычислите ЭДС реакции, приведенной в задаче 2 варианта 19.

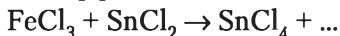
5. Рассчитайте электродный потенциал серебра в 0,5%-м растворе сульфата серебра. Плотность раствора принять равной 1 г/мл.

### Вариант 20

1. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в сокращенной ионной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



2. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в молекулярной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



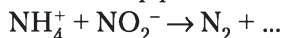
3. Определите молярную массу эквивалента восстановителя в реакции, приведенной в задаче 2 варианта 20.

4. Пользуясь значениями стандартных электродных потенциалов, вычислите ЭДС реакции, приведенной в задаче 2 варианта 20.

5. В 500 г воды растворили 2,8 г никелевого купороса  $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ . Рассчитайте электродный потенциал никеля в полученном растворе сульфата никеля. Плотность раствора принять равной 1 г/мл.

### Вариант 21

1. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в сокращенной ионной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



2. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в молекулярной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



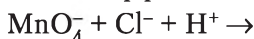
3. Определите молярную массу эквивалента восстановителя в реакции, приведенной в задаче 2 варианта 21.

4. Пользуясь значениями стандартных электродных потенциалов, вычислите ЭДС реакции, приведенной в задаче 2 варианта 21.

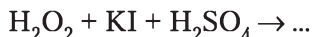
5. Рассчитайте электродный потенциал свинца в 0,1 М растворе ацетата свинца.

### Вариант 22

1. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в сокращенной ионной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



2. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в молекулярной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



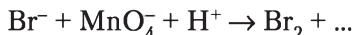
3. Определите молярную массу эквивалента окислителя в реакции, приведенной в задаче 2 варианта 22.

4. Пользуясь значениями стандартных электродных потенциалов, вычислите ЭДС реакции, приведенной в задаче 2 варианта 22.

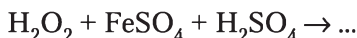
5. Рассчитайте электродный потенциал марганца в 2%-м растворе сульфата марганца(II). Плотность раствора принять равной 1 г/мл.

**Вариант 23**

1. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в сокращенной ионной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



2. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в молекулярной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



3. Определите молярную массу эквивалента восстановителя в реакции, приведенной в задаче 2 варианта 23.

4. Пользуясь значениями стандартных электродных потенциалов, вычислите ЭДС реакции, приведенной в задаче 2 варианта 23.

5. Рассчитайте электродный потенциал серебра в 0,1%-м растворе нитрата серебра. Плотность раствора принять равной 1 г/мл.

**Вариант 24**

1. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в сокращенной ионной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



2. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в молекулярной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



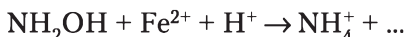
3. Определите молярную массу эквивалента восстановителя в реакции, приведенной в задаче 2 варианта 24.

4. Пользуясь значениями стандартных электродных потенциалов, вычислите ЭДС реакции, приведенной в задаче 2 варианта 24.

5. В результате растворения в воде 2,78 г железного купороса получили 500 мл раствора сульфата железа. Рассчитайте электродный потенциал железа в полученном растворе.

**Вариант 25**

1. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в сокращенной ионной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



2. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в молекулярной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



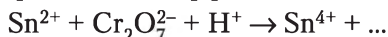
3. Определите молярную массу эквивалента окислителя в реакции, приведенной в задаче 2 варианта 25.

4. Пользуясь значениями стандартных электродных потенциалов, вычислите ЭДС реакции, приведенной в задаче 2 варианта 25.

5. Рассчитайте электродный потенциал железа в 0,04%-м растворе сульфата железа(II). Плотность раствора принять равной 1 г/мл.

### Вариант 26

1. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в сокращенной ионной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



2. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в молекулярной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



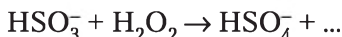
3. Определите молярную массу эквивалента восстановителя в реакции, приведенной в задаче 2 варианта 26.

4. Пользуясь значениями стандартных электродных потенциалов, вычислите ЭДС реакции, приведенной в задаче 2 варианта 26.

5. Рассчитайте электродный потенциал меди в 3%-м растворе нитрата меди(II). Плотность раствора принять равной 1 г/мл.

### Вариант 27

1. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в сокращенной ионной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



2. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в молекулярной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:





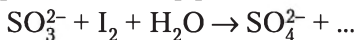
3. Определите молярную массу эквивалента восстановителя в реакции, приведенной в задаче 2 варианта 27.

4. Пользуясь значениями стандартных электродных потенциалов, вычислите ЭДС реакции, приведенной в задаче 2 варианта 27.

5. При растворении в воде 2,87 г кристаллогидрата  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  получили 200 мл раствора сульфата цинка. Рассчитайте электродный потенциал цинка в полученном растворе.

### Вариант 28

1. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в сокращенной ионной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



2. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в молекулярной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



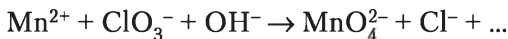
3. Определите молярную массу эквивалента окислителя в реакции, приведенной в задаче 2 варианта 28.

4. Пользуясь значениями стандартных электродных потенциалов, вычислите ЭДС реакции, приведенной в задаче 2 варианта 28.

5. Рассчитайте электродный потенциал меди в 2%-м растворе хлорида меди(II). Плотность раствора принять равной 1 г/мл.

### Вариант 29

1. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в сокращенной ионной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



2. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в молекулярной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



3. Определите молярную массу эквивалента восстановителя в реакции, приведенной в задаче 2 варианта 29.

4. Пользуясь значениями стандартных электродных потенциалов, вычислите ЭДС реакции, приведенной в задаче 2 варианта 29.

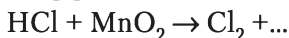
5. Рассчитайте электродный потенциал свинца в 1%-м растворе хлорида свинца. Плотность раствора принять равной 1 г/мл.

### Вариант 30

1. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в сокращенной ионной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



2. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в молекулярной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



3. Определите молярную массу эквивалента восстановителя в реакции, приведенной в задаче 2 варианта 30.

4. Пользуясь значениями стандартных электродных потенциалов, вычислите ЭДС реакции, приведенной в задаче 2 варианта 30.

5. Рассчитайте окислительно-восстановительный потенциал инертного электрода в растворе, в котором концентрация катиона  $\text{Fe}^{2+}$  равна  $3 \cdot 10^{-3}$  моль/л, а концентрация катиона  $\text{Fe}^{3+}$  составляет  $1 \cdot 10^{-3}$  моль/л.

## Глава 9

# Комплексные соединения

---

В результате успешного освоения материала этой главы студент должен:

— **знать:** строение координационной сферы комплексных соединений, факторы, влияющие на устойчивость комплексных соединений в растворах;

— **уметь:** называть комплексные соединения в соответствии с номенклатурой ИЮПАК, сравнивать устойчивость комплексных соединений по числовым значениям констант устойчивости и констант нестойкости;

— **владеть:** представлениями о теории координационной химической связи и геометрии внутренней координационной сферы.

**Изучите:** гл. 13 учебника.

**Повторите:** гл. 4 учебника.

---

### 9.1. Вопросы для подготовки к коллоквиуму

1. Как образуются комплексные соединения?
2. Почему комплексные соединения называют также координационными?
3. Из каких частиц состоит внутренняя координационная сфера?
4. Что такое координационное число?
5. Как образуются наименования комплексных соединений?
6. Что такое дентатность лиганда?
7. Какие лиганды называют полидентатными?
8. Каково строение макроциклических лигандов?
9. Какие комплексные соединения называют криптатами?
10. Каково строение многоядерных комплексов?
11. Как диссоциируют комплексные соединения?
12. Какие реакции характеризуют константы устойчивости?
13. Как связаны между собой частные и общие константы устойчивости?
14. Какие реакции характеризуют константы нестойкости?

15. Как связаны между собой константы устойчивости и константы нестойкости?

16. Что такое хелатный эффект? Что такое макроциклический эффект?

17. Как объясняет структуру комплекса метод валентных связей?

18. Как объясняет свойства комплексных соединений теория кристаллического поля?

## 9.2. Примеры решения задач

### Задачи с использованием констант устойчивости

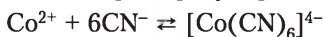
В данном пособии рассмотрены только наиболее простые задачи, которые можно решить, зная числовые значения констант устойчивости комплексных соединений. В частности, при помощи констант устойчивости можно оценить, как меняется прочность комплексных соединений в зависимости от природы и заряда иона-комплексобразователя, от природы лиганда. Чем больше устойчивость комплексного соединения, тем больше числовое значение константы устойчивости.

#### Пример 9.1.

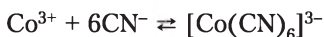
**Задача.** На основании числовых значений констант устойчивости определите, в каком из соединений комплексный анион более прочен:  $K_4[Co(CN)_6]$  или  $K_3[Co(CN)_6]$ . Напишите название этого комплексного соединения. Увеличивается или уменьшается прочность комплексных соединений с ростом заряда иона-комплексобразователя?

**Решение.**

Для решения этой задачи воспользуемся числовыми значениями констант устойчивости, приведенными в прил. 7. Для первого комплексного соединения гексацианокобальтата(II) калия  $K_4[Co(CN)_6]$  общая константа устойчивости для шестой ступени  $\beta_6 = 1,2 \cdot 10^{19}$ . Эта константа характеризует равновесие реакции:



Для второго комплексного соединения гексацианокобальтата(III) калия  $K_3[Co(CN)_6]$  общая константа устойчивости для шестой ступени  $\beta_6 = 1,0 \cdot 10^{64}$ . Эта константа характеризует равновесие реакции:



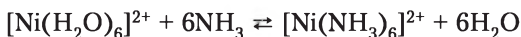
Очевидно, что константа, характеризующая устойчивость второго комплексного соединения, в огромное количество раз больше, что свидетельствует о большей прочности этого соединения. Заряд иона-комплексобразователя больше в более прочном комплексном соединении, поэтому можно сделать вывод, что с ростом заряда иона-комплексобразователя устойчивость однотипных комплексов увеличивается.

*Ответ.* Гексацианокобальтат(III) калия, увеличивается.

Если в растворе одновременно присутствует несколько видов частиц, которые могут быть лигандами, то при постоянном координационном числе преимущественно образуется комплексное соединение с тем лигандом, наличие которого во внутренней координационной сфере сообщает комплексу наибольшую устойчивость, о чем можно судить по наибольшему значению константы устойчивости.

### Пример 9.2.

*Задача.* Определите, в каком направлении смещено равновесие в системе

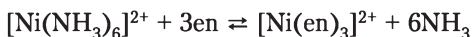


*Решение.* В прил. 7 находим числовое значение общей константы устойчивости для шестой ступени образования комплексного соединения никеля с аммиаком:  $\beta_6([\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}) = 5,38 \cdot 10^8$ . Константы устойчивости для комплексных соединений, в которых лигандами служат молекулы воды, принимают равными нулю  $\beta_6([\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}) = 0$ . Следовательно, комплексное соединение никеля с аммиаком прочнее, чем с водой, поэтому равновесие в рассматриваемой системе смещено вправо.

*Ответ.* Вправо.

### Пример 9.3.

*Задача.* Определите, в каком направлении смещено равновесие в системе



*Решение.* Приведенная в условии задачи реакция является реакцией полного замещения лигандов: все шесть молекул аммиака из состава катиона гексаамминникеля(II) замещаются молекулами другого лиганда — этилендиамина, который сокращенно обозначают en. Молекула этого бидентатного лиганда, формула которого  $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$ , содержит два донорных атома азота и поэтому может замещать в составе комплекса две молекулы монодентатного лиганда аммиака. Устойчивость комплексного катиона трис(этилендиамин)никеля(II) характеризуется общей константой устойчивости  $\beta_3([\text{Ni}(\text{en})_3]^{2+})$ , равной  $1,51 \cdot 10^{18}$  и во много раз превышающей общую константу устойчивости комплексного катиона гексаамминникеля(II)  $\beta_6([\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+})$ , равную  $5,38 \cdot 10^8$ .

Следовательно, в рассматриваемой системе равновесие будет смещено в сторону образования комплекса с этилендиамином, т.е. вправо.

*Ответ.* Вправо.

При помощи констант устойчивости можно осуществлять не только качественное сравнение устойчивости комплексных соединений, но и проводить расчеты концентраций компонентов растворов, в состав которых входят комплексные соединения. Наибольший интерес при этом представляют, как правило, остаточные концентрации катиона, связываемого в комплекс.

#### Пример 9.4.

**Задача.** Вычислите равновесную концентрацию гидратированных катионов никеля в 0,01 М растворе сульфата гексаамминникеля с избыточной концентрацией аммиака, равной 1 моль/л.

*Решение.*

$$\begin{array}{l} c([\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]\text{SO}_4) = 0,01 \text{ моль/л} \\ c(\text{NH}_3) = 1 \text{ моль/л} \end{array}$$

$$[\text{Ni}^{2+}] = ?$$

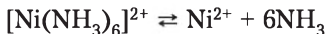
При растворении рассматриваемого комплексного соединения в воде оно диссоциирует на комплексный катион гексаамминникеля и сульфат-ион как

сильный электролит, т.е. полностью и необратимо:



поэтому концентрация комплексного катиона равна концентрации комплексного соединения, т.е. 0,01 моль/л.

Гидратированные катионы никеля, которые для упрощения записи обозначают  $\text{Ni}^{2+}$ , появляются в растворе в результате полной диссоциации комплексного катиона:



Концентрация свободного аммиака в растворе в 100 раз превышает концентрацию комплексного катиона. Поэтому диссоциация этого комплексного катиона подавляется и его равновесную концентрацию ( $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$ ) можно считать равной его общей концентрации  $c([\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+})$ . Равновесная концентрация свободного аммиака  $[\text{NH}_3]$  также практически равна его общей концентрации  $c(\text{NH}_3)$ .

Вычисляем концентрацию гидратированных катионов никеля  $[\text{Ni}^{2+}]$ , используя числовое значение общей константы устойчивости для шестой ступени  $\beta_6([\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+})$ , характеризующей процесс образования комплексного катиона  $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$ :



$$\beta_6([\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}) = \frac{[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}}{[\text{Ni}^{2+}][\text{NH}_3]^6}.$$

Заменяя равновесные концентрации аммиака и комплексного катиона на их общие концентрации, получаем

$$\beta_6([\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}) = \frac{c([\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+})}{[\text{Ni}^{2+}]c(\text{NH}_3)^6}.$$

Решаем это уравнение относительно искомой концентрации свободных катионов никеля:

$$[\text{Ni}^{2+}] = \frac{c([\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+})}{\beta_6([\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+})c(\text{NH}_3)^6}.$$

Подставляя в это уравнение числовые значения входящих в него величин, получаем

$$[\text{Ni}^{2+}] = \frac{10^{-2}}{5,38 \cdot 10^8 \cdot 1^6} = 1,86 \cdot 10^{-11} \text{ моль/л.}$$

Ответ.  $1,86 \cdot 10^{-11}$  моль/л.

### Пример 9.5.

**Задача.** Вычислите равновесную концентрацию гидратированных катионов кадмия в растворе комплексного соединения, полученном в результате растворения 2,08 г сульфата кадмия в 100 мл 1 М раствора цианида калия.

**Решение.**

$\begin{array}{l} m[\text{CdSO}_4] = 0,16 \text{ г} \\ c(\text{KCN}) = 1 \text{ моль/л} \\ \hline [\text{Cd}^{2+}] = ? \end{array}$	<p>Концентрацию сульфата кадмия в полученном растворе вычисляем при помощи уравнения</p> $c[\text{CdSO}_4] = \frac{m[\text{CdSO}_4]}{M[\text{CdSO}_4] \cdot V} 1000.$
---	---

После подстановки в него числовых значений получаем

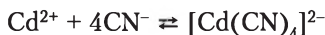
$$c[\text{CdSO}_4] = \frac{0,16}{164,4 \cdot 100} 1000 = 0,01 \text{ моль/л.}$$

В полученном растворе концентрация цианида калия в 100 раз превышает концентрацию сульфата кадмия, поэтому равновесие в системе



смещено вправо и образуется комплекс с максимально возможным для кадмия координационным числом 4.

В сокращенной ионной форме уравнение реакции образования этого комплекса записываем так:



Общая константа устойчивости для четвертой ступени образования этого комплекса равна

$$\beta_4([\text{Cd}(\text{CN})_4]^{2-}) = \frac{[\text{Cd}(\text{CN})_4]^{2-}}{[\text{Cd}^{2+}][\text{CN}^-]^4}.$$

Входящую в это уравнение искомую концентрацию гидратированных, не связанных в цианидный комплекс катионов кадмия  $[\text{Cd}^{2+}]$  обозначим буквой  $x$ . Концентрация комплексного аниона  $[\text{Cd}(\text{CN})_4]^{2-}$  меньше общей концентрации катионов кадмия  $c(\text{Cd}^{2+})$ , равной 0,01 моль/л, на  $x$  моль/л, т.е.  $[\text{Cd}(\text{CN})_4]^{2-} = 0,01 - x$ . В состав каждого комплексного аниона входят четыре цианид-иона, поэтому в результате образования  $[\text{Cd}(\text{CN})_4]^{2-}$  исходная концентрация цианид-ионов  $c(\text{CN}^-) = 1$  моль/л уменьшается на  $4(0,01 - x)$  моль/л. Таким образом, равновесная концентрация цианид-ионов  $[\text{CN}^-] = 1 - 4(0,01 - x)$ . Подставив полученные значения равновесных концентраций в выражение для константы устойчивости, получаем

$$\beta_4([\text{Cd}(\text{CN})_4]^{2-}) = \frac{0,01 - x}{x[1 - 4(0,01 - x)]^4}.$$

Учитывая большой избыток лиганда и высокую устойчивость комплекса ( $\beta_4 = 1,3 \cdot 10^{17}$ ), можно полагать, что концентрация не связанного в комплекс катиона кадмия пренебрежимо мала по сравнению с концентрацией комплекса, т.е.  $0,01 - x \approx 0,01$ . В этом случае выражение для константы устойчивости существенно упрощается:

$$\beta_4([\text{Cd}(\text{CN})_4]^{2-}) = \frac{0,01}{x(0,96)^4}.$$

Решая это уравнение относительно  $x$  и подставляя числовое значение  $\beta_4$ , получаем

$$x = [\text{Cd}^{2+}] = \frac{0,01}{(0,96)^4 \cdot 1,3 \cdot 10^{17}} = 6,92 \cdot 10^{-20} \text{ моль/л.}$$

*Ответ.*  $6,92 \cdot 10^{-20}$  моль/л.

### Задачи на взаимосвязь констант устойчивости и нестойкости

Так как константы устойчивости и константы нестойкости — взаимнообратные величины, можно легко вычислить общую или частную константу нестойкости, если известна соответствующая константа устойчивости:

$$K_{i \text{ нест}} = 1/K_{i \text{ уст}}; \beta_{i \text{ нест}} = 1/\beta_{i \text{ уст}}.$$

#### Пример 9.6.

**Задача.** Пользуясь числовым значением общей константы устойчивости катиона тетраамминцинка(II), вычислите общую константу нестойкости этого комплексного катиона.

**Решение.** Находим в прил. 7 числовое значение общей константы устойчивости:

$$\beta_{4 \text{ уст}}([\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}) = 4,2 \cdot 10^8.$$



Вычисляем обратную ей величину — общую константу нестойкости для этого комплексного катиона:

$$\beta_{4 \text{ нест}}([\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}) = 1/(4,2 \cdot 10^8) = 0,24 \cdot 10^{-8} = 2,4 \cdot 10^{-9}.$$

Ответ.  $2,4 \cdot 10^{-9}$ .

### Задачи по определению структуры внутренних координационных сфер

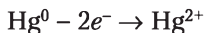
В параграфе 13.6 учебника рассмотрен пример использования метода валентных связей для определения структуры комплексного катиона гексаакваалюминия(III). В рамках этого метода с учетом гибридизации электронных орбиталей иона-комплекссообразователя можно объяснить структуру комплексных соединений всех *s*- и *p*-элементов. Метод валентных связей приложим также для предсказания структуры комплексных соединений, в которых комплекссообразователями служат однозарядные катионы *d*-элементов IB-подгруппы ( $\text{Cu}^+$ ,  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Au}^+$ ) и двухзарядные катионы *d*-элементов IIB-подгруппы ( $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Hg}^{2+}$ ). В этих катионах *d*-элементов в гибридизации участвуют орбитали только внешнего энергетического уровня, номер которого равен номеру периода, к которому принадлежит химический элемент, и определяется главным квантовым числом *n*. Энергетические подуровни предвнешнего энергетического уровня в этих катионах полностью заняты электронами и в гибридизации не участвуют. Например, в катионе меди  $\text{Cu}^+$  вакантны и могут участвовать в гибридизации электронные орбитали подуровней *4s*, *4p* и *4d* внешнего, четвертого энергетического уровня, для которого главное квантовое число равно четырем. Энергетические подуровни *3s*, *3p* и *3d* предвнешнего, третьего энергетического уровня полностью заняты электронами, о чем свидетельствует электронная формула катиона  $\text{Cu}^+$ :  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10}$ . Для описания структуры комплексов других *d*-элементов теории валентных связей недостаточно и необходимо привлекать теорию кристаллического поля.

#### Пример 9.7.

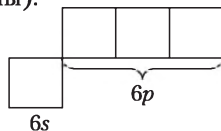
**Задача.** Укажите тип гибридизации орбиталей центрального атома и геометрическую конфигурацию внутренней координационной сферы тетраиодомеркурата(II) калия.

**Решение.** Тетраиодомеркурат(II) калия имеет химическую формулу  $\text{K}_2[\text{HgI}_4]$ . Его внутренняя координационная сфера состоит из иона-комплекссообразователя — катиона ртути  $\text{Hg}^{2+}$  и четырех иодид-ионов  $\text{I}^-$ , являющихся монодентатными лигандами.

Катион  $\text{Hg}^{2+}$  образуется в результате потери атомом ртути двух электронов с подуровня  $6s$ :



В этом катионе имеются вакантные орбитали на подуровнях  $6s$ ,  $6p$ ,  $6d$  и  $6f$  и он может играть роль акцептора электронных пар. Четыре иодид-иона, входящих в состав внутренней координационной сферы, являются донорами электронных пар и предоставляют для образования ковалентных  $\sigma$ -связей четыре электронные пары. Эти электронные пары занимают орбитали катиона  $\text{Hg}^{2+}$  в соответствии с принципом минимума энергии, т.е. они занимают орбитали наиболее низких энергетических подуровней  $6s$  и  $6p$ . На подуровне  $6s$  имеется одна орбиталь, на подуровне  $6p$  — три орбитали (на рисунке орбитали более высоких энергетических подуровней не показаны):



Таким образом, между комплексообразователем катионом  $\text{Hg}^{2+}$  и лигандами иодид-ионами образуется четыре  $\sigma$ -связи по донорно-акцепторному механизму. Четыре электронных пары, осуществляющие эти связи, должны находиться на максимально возможном удалении друг от друга. Для этого связывающие орбитали катиона  $\text{Hg}^{2+}$  подвергаются  $sp^3$ -гибридизации, в результате чего внутренняя координационная сфера имеет форму тетраэдра.

*Ответ.*  $sp^3$ , тетраэдр.

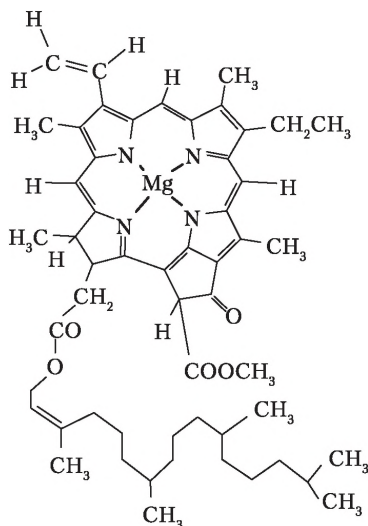
### 9.3. Индивидуальные задания

#### Вариант 1

1. В процессе фотосинтеза в высших растениях, водорослях и фотосинтезирующих бактериях участвуют комплексные соединения магния хлорофиллы. Хлорофиллы различаются между собой строением лигандов. Однако во всех хлорофиллах лиганды имеют одинаковую дентатность. Определите дентатность макроциклического лиганда, входящего в состав хлорофилла *a* (см. рисунок).

2. Напишите химическую формулу сульфата тетрааммин-меди(II) и укажите заряд внутренней координационной сферы.

3. На основании числовых значений констант устойчивости определите, в каком из соединений —  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  или  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  комплексный анион более устойчив.

**Хлорофилл а**

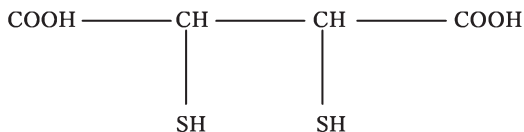
Напишите название этого комплексного соединения. Увеличивается или уменьшается прочность комплексных соединений с ростом заряда иона-комплексобразователя?

4. Вычислите равновесную концентрацию гидратированных катионов кобальта в 0,01 М растворе сульфата гексаамминкобальта(III) с избыточной концентрацией аммиака, равной 1 моль/л.

5. Укажите тип гибридизации орбиталей центрального атома и геометрическую конфигурацию внутренней координационной сферы дицианоаргентата калия.

### Вариант 2

1. Для удаления токсичных металлов из организма человека используют препарат сукцимер:



Определите число донорных атомов в молекуле этого вещества.

2. В соответствии с правилами ИЮПАК составьте название комплексного соединения  $[\text{Ni}(\text{CO})_4]$ . Определите степень окисления комплексобразователя.

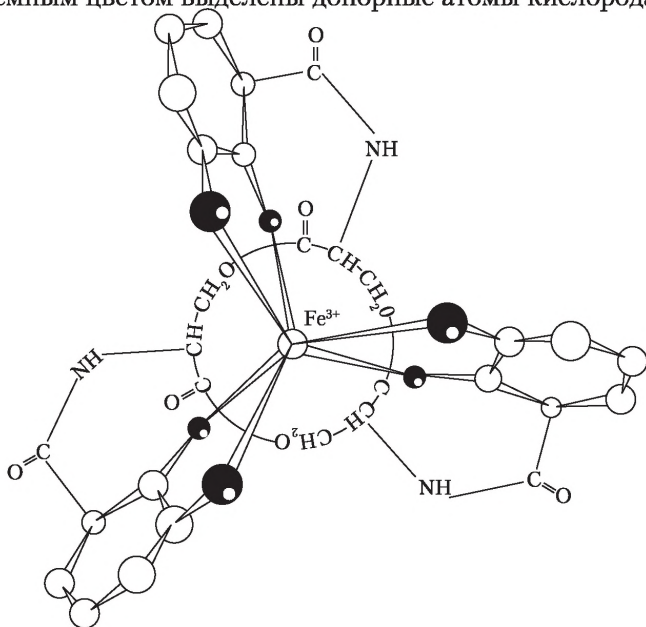
3. На основании числовых значений констант устойчивости определите, в каком из соединений —  $K[AgCl_2]$ ,  $K[AgBr_2]$  или  $K[AgI_2]$  комплексный анион более устойчив. Напишите название этого комплексного соединения. Увеличивается или уменьшается прочность комплексных соединений серебра(I) в ряду лигандов  $Cl^- - Br^- - I^-$ ?

4. К 50 мл 0,5 М раствора аммиака прибавили 50 мл 0,05 М раствора нитрата серебра. Вычислите концентрацию гидратированных катионов  $Ag^+$  в полученном растворе нитрата диамминсеребра(I).

5. Укажите тип гибридизации орбиталей центрального атома и геометрическую конфигурацию внутренней координационной сферы тетрабромомеркурата(II) калия.

### Вариант 3

1. Транспорт железа к местам биосинтеза железосодержащих соединений в большинстве аэробных микроорганизмов осуществляется в виде комплексных соединений железа(III) с особыми лигандами — сидерохромами. Определите координационное число иона-комплексобразователя в комплексе  $Fe^{3+}$  с сидерохромом, который называется энтеробактином (темным цветом выделены донорные атомы кислорода):



2. Напишите химическую формулу комплексного соединения, которое называется бис(тиоцианато)бис(этилендиамин)медь(II) и определите координационное число комплексообразователя.

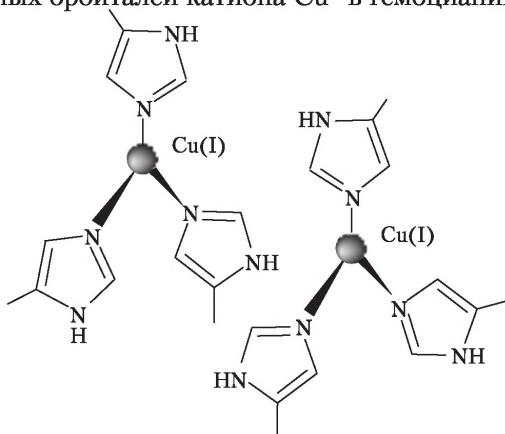
3. На основании числовых значений констант устойчивости определите, в каком из соединений —  $K_2[ZnI_4]$ ,  $K_2[CdI_4]$  или  $K_2[HgI_4]$  комплексный анион более устойчив. Напишите название этого комплексного соединения. Увеличивается или уменьшается с ростом ионного радиуса прочность комплексных соединений элементов ПБ-подгруппы, в которых лигандами служат иодид-ионы? Ионные радиусы имеют следующие значения:  $r_{\text{ион}}(Zn^{2+}) = 74$  пм,  $r_{\text{ион}}(Cd^{2+}) = 92$  пм,  $r_{\text{ион}}(Hg^{2+}) = 110$  пм.

4. В 100 мл 1 М раствора оксалата натрия растворили 0,203 г кристаллогидрата  $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ . Вычислите равновесную концентрацию гидратированных катионов магния в полученном растворе  $Na_2[Mg(ox)_2]$ .

5. Укажите тип гибридизации орбиталей центрального атома и геометрическую конфигурацию внутренней координационной сферы дибромocupрата(I) калия.

#### Вариант 4

1. Перенос кислорода в организмах некоторых моллюсков и членистоногих осуществляется при помощи гемоцианина. Активный центр гемоцианина, связывающий молекулу кислорода, включает в себя два одинаковых комплекса, в которых комплексообразователями служат катионы меди(I). Определите координационное число и тип гибридизации электронных орбиталей катиона  $Cu^+$  в гемоцианине:



2. В соответствии с правилами ИЮПАК составьте название комплексного соединения  $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ .

3. На основании числовых значений констант устойчивости определите, в каком направлении смещено равновесие в системе



4. Вычислите равновесную концентрацию гидратированных катионов кадмия(II) в 0,025 М растворе тетрагидроксокадмата(II) натрия с избыточной концентрацией гидроксида натрия, равной 2 моль/л.

5. Укажите тип гибридизации орбиталей центрального атома и геометрическую конфигурацию внутренней координационной сферы в гексабромовисмутате(III) калия.

### Вариант 5

1. На рис. 13.2, б учебника изображена структура внутренней координационной сферы комплексного соединения, в котором лигандом служит этилендиамин. Из скольких атомов состоит хелатный цикл этого комплекса?

2. Напишите химическую формулу тетрахлороцинката(II) цезия. Определите тип гибридизации электронных орбиталей комплексообразователя и геометрическую форму внутренней координационной сферы.

3. На основании числовых значений констант устойчивости определите, в каком из соединений —  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{ox})_3]$  или  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{ox})_3]$  комплексный анион более устойчив. Напишите название этого комплексного соединения. Увеличивается или уменьшается прочность комплексных соединений с ростом заряда иона-комплексообразователя?

4. К 200 мл 1 М раствора иодида калия прибавили 200 мл 0,01 М раствора иодида кадмия. Вычислите концентрацию гидратированных катионов  $\text{Cd}^{2+}$  в полученном растворе  $\text{K}_2[\text{CdI}_4]$ .

5. Укажите тип гибридизации орбиталей центрального атома и геометрическую конфигурацию внутренней координационной сферы тетрафторобериллата(II) натрия.

### Вариант 6

1. Как называется повышенная устойчивость комплексных соединений с макроциклическими лигандами?

2. В соответствии с правилами ИЮПАК составьте название комплексного соединения  $[\text{Zn}(\text{H}_2\text{O})_4]\text{Cl}_2$ .

3. На основании числовых значений констант устойчивости определите, в каком из соединений —  $\text{K}_2[\text{HgCl}_4]$ ,

$K_2[HgBr_4]$  или  $K_2[HgI_4]$  комплексный анион более устойчив. Напишите название этого комплексного соединения. Увеличивается или уменьшается прочность комплексных соединений ртути(II) с увеличением радиуса анионов-лигандов:  $r(Cl^-) < r(Br^-) < r(I^-)$ ?

4. В 100 мл 1 М раствора этилендиамина растворили 0,281 г кристаллогидрата  $CoSO_4 \cdot 7H_2O$ . Вычислите равновесную концентрацию гидратированных катионов кобальта в полученном растворе  $[Co(en)_3]SO_4$ .

5. Укажите тип гибридизации орбиталей центрального атома и геометрическую конфигурацию внутренней координационной сферы в бромиде диаминмеди(I).

### Вариант 7

1. Сколько донорных атомов в молекуле или ионе монодентатного лиганда?

2. Напишите химическую формулу комплексного соединения, которое называется тетранитродиаминкобальтат(III) калия, и определите координационное число комплексообразователя, учитывая, что в этом комплексном соединении нитрит-ион — монодентатный лиганд.

3. На основании числовых значений констант устойчивости определите, в каком из соединений —  $[Fe(en)_3]SO_4$ ,  $[Co(en)_3]SO_4$  или  $[Ni(en)_3]SO_4$  комплексный катион более устойчив. Напишите название этого комплексного соединения. Увеличивается или уменьшается с ростом ионного радиуса прочность комплексных соединений элементов семейства железа, в которых лигандами служат молекулы этилендиамина? Ионные радиусы имеют следующие значения:  $r_{\text{ион}}(Fe^{2+}) = 75$  пм,  $r_{\text{ион}}(Co^{2+}) = 79$  пм,  $r_{\text{ион}}(Ni^{2+}) = 83$  пм.

4. Вычислите равновесную концентрацию гидратированных катионов меди(II) в 0,005 М растворе тетракис(изотиоцианато)купрата(II) натрия с избыточной концентрацией тиоцианата натрия, равной 0,1 моль/л.

5. Укажите тип гибридизации орбиталей центрального атома и геометрическую конфигурацию внутренней координационной сферы тетрахломеркурата(II) калия.

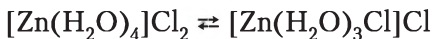
### Вариант 8

1. Как называют лиганды, содержащие два или более донорных атома?

2. В соответствии с правилами ИЮПАК составьте название комплексного соединения  $Na[Sn(H_2O)(OH)_5]$ . Определите

координационное число комплексообразователя и геометрическую форму внутренней координационной сферы.

3. На основании числовых значений констант устойчивости определите, в каком направлении смещено равновесие в системе



4. К 20 мл 0,2 М раствора этилендиамина прибавили 20 мл 0,01 М раствора сульфата железа(II). Вычислите концентрацию гидратированных катионов  $\text{Fe}^{2+}$  в полученном растворе сульфата трис(этилендиамин)железа(II).

5. Укажите тип гибридизации орбиталей центрального атома и геометрическую конфигурацию внутренней координационной сферы в гексафтороалюминате(III) натрия.

### Вариант 9

1. Как называют комплексы с макроциклическими лигандами — криптандами?

2. Для нанесения гальванических покрытий платиной используют электролит, в состав которого входит гексгидроксоплатинат(IV) натрия. Напишите химическую формулу этого комплексного соединения.

3. На основании числовых значений констант устойчивости определите, в каком из соединений —  $[\text{Co}(\text{en})_3]\text{SO}_4$  или  $[\text{Co}(\text{en})_3]_2(\text{SO}_4)_3$  комплексный анион более устойчив. Напишите название этого комплексного соединения. Увеличивается или уменьшается устойчивость комплексных соединений с ростом заряда иона-комплексообразователя?

4. В 100 мл 0,9 М раствора тиосульфата натрия растворили 0,167 г кристаллогидрата  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ . Вычислите равновесную концентрацию гидратированных катионов ртути(II) в полученном растворе  $\text{Na}_6[\text{Hg}(\text{S}_2\text{O}_3)_4]$ .

5. Укажите тип гибридизации орбиталей центрального атома и геометрическую конфигурацию внутренней координационной сферы тетрацианокадмата(II) калия.

### Вариант 10

1. На рис. 13.4 учебника изображена структура комплексного соединения, в котором лигандом служит макроциклический лиганд — криптанд. Определите дентатность этого лиганда.

2. В соответствии с правилами ИЮПАК составьте название комплексного соединения  $\text{Na}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$ .



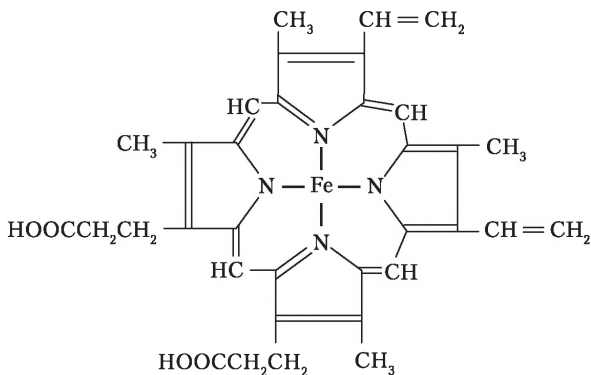
3. На основании числовых значений констант устойчивости определите, в каком из соединений —  $K[CuCl_2]$ ,  $K[CuBr_2]$  или  $K[CuI_2]$  комплексный анион более устойчив. Напишите название этого комплексного соединения. Увеличивается или уменьшается прочность комплексных соединений меди(II) с увеличением радиуса анионов-лигандов:  $r(Cl^-) < r(Br^-) < r(I^-)$ ?

4. Вычислите равновесную концентрацию гидратированных катионов свинца(II) в 0,002 М растворе тригидроксоплюмбата(II) натрия с избыточной концентрацией гидроксида натрия, равной 0,2 моль/л.

5. Укажите тип гибридизации орбиталей центрального атома и геометрическую конфигурацию внутренней координационной сферы тетрацианоцинката(II) натрия.

### Вариант 11

1. В переносе кислорода от органов дыхания к тканям почти у всех позвоночных и у большинства беспозвоночных животных участвует комплексное соединение железа(II) — гем, входящий в состав гемоглобина. Определите дентатность макроциклического лиганда гема:



2. Напишите химическую формулу комплексного соединения, которое называется бис(изотиоцианато)тетраамминникель(II), и укажите заряд внутренней координационной сферы.

3. На основании числовых значений констант устойчивости определите, в каком из соединений —  $K_2[ZnCl_4]$ ,  $K_2[CdCl_4]$  или  $K_2[HgCl_4]$  комплексный анион более устойчив. Напишите название этого комплексного соединения. Увеличивается или уменьшается с ростом ионного радиуса прочность

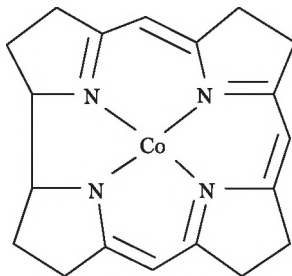
комплексных соединений элементов IIB-подгруппы, в которых лигандами служат хлорид-ионы? Ионные радиусы имеют следующие значения:  $r_{\text{ион}}(\text{Zn}^{2+}) = 74$  пм,  $r_{\text{ион}}(\text{Cd}^{2+}) = 92$  пм,  $r_{\text{ион}}(\text{Hg}^{2+}) = 110$  пм.

4. К 15 мл 0,15 М раствора оксалата натрия прибавили 15 мл 0,008 М раствора сульфата железа(II). Вычислите концентрацию гидратированных катионов  $\text{Fe}^{2+}$  в полученном растворе  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{ox})_3]$ .

5. Укажите тип гибридизации орбиталей центрального атома и геометрическую конфигурацию внутренней координационной сферы гексабромоталлата(III) калия.

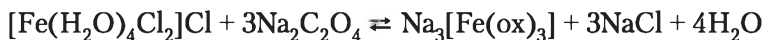
### Вариант 12

1. В структуре витамина  $\text{B}_{12}$  присутствует корриновый лиганд, образующий донорно-акцепторные связи с катионом кобальта. Определите дентатность этого лиганда:



2. В соответствии с правилами ИЮПАК составьте название комплексного соединения  $[\text{Cr}(\text{CO})_6]$ . Определите степень окисления комплексообразователя.

3. На основании числовых значений констант устойчивости определите, в каком направлении смещено равновесие в системе



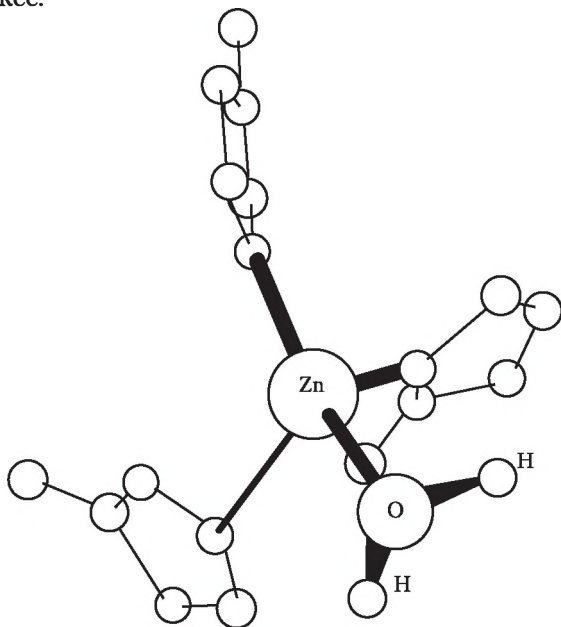
4. В 50 мл 1 М раствора тиосульфата натрия растворили 0,116 г оксида серебра(I). Вычислите равновесную концентрацию гидратированных катионов серебра в полученном растворе  $\text{Na}_5[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_3]$ .

5. Укажите тип гибридизации орбиталей центрального атома и геометрическую конфигурацию внутренней координационной сферы тетраиодоплюмбата(II) калия.

### Вариант 13

1. Активный центр фермента карбоангидразы, которая катализирует процесс превращения диоксида углерода в гидро-

карбонат-ионы, представляет собой комплексное соединение, в котором комплексообразователем служит катион цинка  $\text{Zn}^{2+}$ . Определите координационное число и тип гибридизации электронных орбиталей комплексообразователя в этом комплексе:



2. Напишите химическую формулу комплексного соединения, которое называется этилендиаминтетраацетатодиаквалантанат(III) калия и определите координационное число комплексообразователя. Является ли данное координационное число распространенным?

3. На основании числовых значений констант устойчивости определите, в каком из соединений —  $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_5\text{OH}]\text{SO}_4$  или  $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_5\text{OH}]\text{SO}_4$  комплексный катион более устойчив. Напишите название этого комплексного соединения. Увеличивается или уменьшается устойчивость комплексов с ростом заряда иона-комплексообразователя?

4. Вычислите равновесную концентрацию гидратированных катионов серебра в растворе, содержащем 0,02 моль/л катионов диамминсеребра(I) и 0,2 моль/л аммиака.

5. Укажите тип гибридизации орбиталей центрального атома и геометрическую конфигурацию внутренней координационной сферы тетрабромоаурата(I) калия.

**Вариант 14**

1. Как называются комплексы, способные к быстрому обмену лигандами?

2. В соответствии с правилами ИЮПАК составьте название комплексного соединения  $K_4[V(CN)_7]$ , в котором комплексный анион имеет форму пентагональной бипирамиды. Являются ли обычными координационное число комплексообразователя и геометрическая форма внутренней координационной сферы, которые имеют место в данном комплексном соединении?

3. Пользуясь числовым значением общей константы устойчивости для гексафтороалюминат(III)-иона, вычислите числовое значение общей константы нестойкости для этого комплексного аниона.

4. К 40 мл 0,2 М раствора тиоцианата натрия прибавили 40 мл 0,01 М раствора нитрата серебра. Вычислите концентрацию гидратированных катионов  $Ag^+$  в полученном растворе бис(изотиоцианато)аргентата(I) натрия.

5. Укажите тип гибридизации орбиталей центрального атома и геометрическую конфигурацию внутренней координационной сферы тетрагидроксоцинката(II) натрия.

**Вариант 15**

1. На рис. 13.2, в учебника изображена структура внутренней координационной сферы комплексного соединения, в котором лигандом служит диэтилентриамин. Из скольких атомов состоит каждый из двух показанных на рисунке хелатных циклов этого комплекса?

2. Напишите химическую формулу октацианомолибдата(V) калия, внутренняя координационная сфера которого имеет форму додекаэдра. Являются ли распространенными координационное число и геометрическая форма внутренней координационной сферы, имеющие место в этом комплексном соединении?

3. На основании числовых значений констант устойчивости определите, в каком из соединений —  $K[CuBr_2]$ ,  $K[AgBr_2]$  или  $K[AuBr_2]$  комплексный анион менее устойчив. Напишите название этого комплексного соединения. Увеличивается или уменьшается с ростом ионного радиуса прочность комплексных соединений элементов IV-подгруппы, в которых лигандами служат бромид-ионы? Ионные радиусы имеют следующие значения:  $r_{\text{ион}}(Cu^+) = 60$  пм,  $r_{\text{ион}}(Ag^+) = 81$  пм,  $r_{\text{ион}}(Au^+) = 97$  пм.

4. В 200 мл 1 М раствора фторида натрия растворили 0,135 г кристаллогидрата  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Вычислите равновесную концентрацию гидратированных катионов железа(III) в полученном растворе  $\text{Na}_2[\text{FeF}_5]$ .

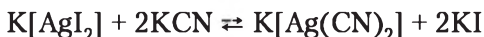
5. Укажите тип гибридизации орбиталей центрального атома и геометрическую конфигурацию внутренней координационной сферы тетрацианомеркурата(II) натрия.

### Вариант 16

1. Как называется повышенная устойчивость комплексных соединений с полидентатными лигандами?

2. В соответствии с правилами ИЮПАК составьте название комплексного соединения  $[\text{Mg}(\text{H}_2\text{O})_6]\text{Cl}_2$ .

3. На основании числовых значений констант устойчивости определите, в каком направлении смещено равновесие в системе



4. Вычислите равновесную концентрацию гидратированных катионов  $\text{Hg}^{2+}$  в растворе, содержащем 0,025 моль/л тетрабромомеркурата(II) калия и 0,1 моль/л бромида калия.

5. Определите геометрическую форму комплексного катиона и тип гибридизации электронных орбиталей комплексообразователя в сульфате тетраамминкадмия(II).

### Вариант 17

1. Как называются комплексы, которые чрезвычайно медленно обмениваются лигандами с раствором?

2. Напишите химическую формулу комплексного соединения, которое называется хлорид нитропентаамминкобальта(III), и определите координационное число комплексообразователя, учитывая, что в этом комплексном соединении нитрит-ион — монодентатный лиганд.

3. На основании числовых значений констант устойчивости определите, в каком из соединений —  $\text{Na}_5[\text{Cu}(\text{S}_2\text{O}_3)_3]$  или  $\text{Na}_4[\text{Cu}(\text{S}_2\text{O}_3)_3]$  комплексный анион более устойчив. Напишите название этого комплексного соединения. (Тиосульфат-ион в качестве лиганда называется тиосульфато.) Увеличивается или уменьшается устойчивость комплексов с ростом заряда иона-комплексообразователя?

4. К 80 мл 0,5 М раствора бромида калия прибавили 80 мл 0,01 М раствора нитрата серебра. Вычислите концентрацию гидратированных катионов  $\text{Ag}^+$  в полученном растворе  $\text{K}_3[\text{AgBr}_4]$ .

5. Определите геометрическую форму комплексного аниона в гексагидроксостаннате(IV) натрия.

### Вариант 18

1. Как называют константы равновесия каждой из ступеней образования комплексного соединения?

2. Для гальванического золочения используют электролит, в состав которого входит  $K[Au(CN)_2]$ . Составьте название этого комплексного соединения в соответствии с правилами ИЮПАК, определите координационное число комплексообразователя и геометрическую форму внутренней координационной сферы.

3. Пользуясь числовым значением общей константы устойчивости для тетрахлороферрат(III)-иона, вычислите числовое значение общей константы нестойкости для этого комплексного аниона. Устойчиво ли это соединение в водном растворе?

4. В 100 мл 1 М раствора тиоцианата калия растворили 0,17 г нитрата серебра. Вычислите равновесную концентрацию гидратированных катионов серебра в полученном растворе  $K[Ag(NCS)_2]$ .

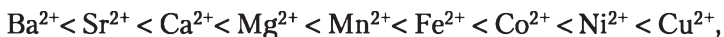
5. Укажите тип гибридизации орбиталей центрального атома и геометрическую конфигурацию внутренней координационной сферы гексаиодовисмутата(III) натрия.

### Вариант 19

1. Как называют координационные сферы с несколькими центральными атомами или ионами?

2. Напишите химическую формулу диоксалатокупрата(II) натрия и определите координационное число комплексообразователя.

3. Для многих лигандов справедлив ряд Ирвинга — Вильямса:



в котором двухзарядные катионы расположены в порядке возрастания устойчивости их комплексов. Проверьте, справедлив ли ряд Ирвинга — Вильямса в отношении комплексных анионов следующих соединений:  $K_4[Fe(ox)_3]$ ,  $K_4[Co(ox)_3]$  и  $K_4[Ni(ox)_3]$ . Напишите название того комплексного соединения, в состав которого входит наиболее устойчивый комплексный анион.

4. Вычислите равновесную концентрацию гидратированных катионов  $Ni^{2+}$  в растворе, содержащем 0,05 моль/л

катионов трис(этилендиамин)никеля(II) и 1 моль/л этилендиамина.

5. Определите геометрическую форму комплексного катиона в сульфате гексаамминкобальта(II).

### Вариант 20

1. На рис. 13.3, *a* учебника изображена структура комплексного соединения, в котором лигандом служит циклический тетраэтилететраамин. Определите дентатность этого лиганда.

2. В соответствии с правилами ИЮПАК составьте название комплексного соединения  $\text{Na}_2[\text{CuCl}_4]$ .

3. Закончите уравнение окислительно-восстановительной реакции, которую используют для получения палладиевых покрытий:



Подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов и вычислите молярную массу эквивалента окислителя.

4. К 30 мл 0,1 М раствора оксалата натрия прибавили 30 мл 0,01 М раствора сульфата кобальта(II). Вычислите концентрацию гидратированных катионов  $\text{Co}^{2+}$  в полученном растворе  $\text{Na}_4[\text{Co}(\text{ox})_3]$ .

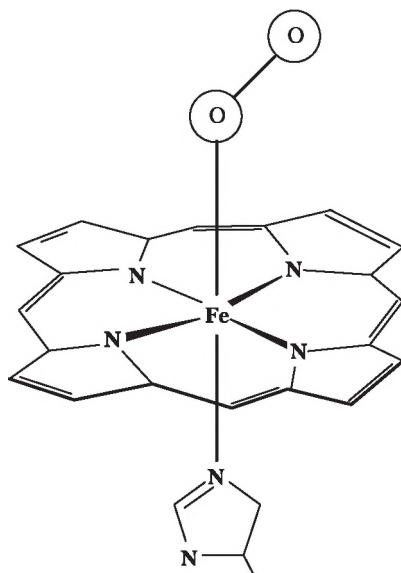
5. Укажите тип гибридизации орбиталей центрального атома и геометрическую конфигурацию внутренней координационной сферы в гексагидроксогаллате(III) натрия.

### Вариант 21

1. В переносе кислорода от органов дыхания к тканям почти у всех позвоночных и у большинства беспозвоночных животных участвует комплексное соединение железа(II) — гем, входящий в состав гемоглобина. Определите координационное число иона-комплексобразователя  $\text{Fe}^{2+}$  в геме гемоглобина, связавшем молекулу кислорода (см. рисунок). (Ниже плоскости макроциклического лиганда показана связь, которую катион железа(II) образует с другим лигандом — белком глобином.)

2. Напишите химическую формулу комплексного соединения, которое называется тетракис(изотиоцианато)-диамминхромат(III) калия, и укажите координационное число комплексобразователя.

3. На основании числовых значений констант устойчивости определите, в каком из соединений —  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_2$  или  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$  комплексный катион более устойчив.



Гем гемоглобина, связавший молекулу кислорода

Напишите название этого комплексного соединения. Увеличивается или уменьшается устойчивость комплексов с ростом заряда иона-комплексобразователя?

4. В 50 мл 2 М раствора этилендиамина растворили 0,259 г кристаллогидрата  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ . Вычислите равновесную концентрацию гидратированных катионов цинка в полученном растворе  $[\text{Zn}(\text{en})_3]\text{SO}_4$ .

5. Определите геометрическую форму комплексного аниона в тетранитромеркурате(II) калия.

### Вариант 22

1. В качестве противоопухолевого препарата при лечении рака применяли комплексное соединение платины  $[\text{PtCl}_2(\text{NH}_3)_2]$ . Определите координационное число и заряд иона-комплексобразователя в этом комплексном соединении.

2. В соответствии с правилами ИЮПАК составьте название комплексного соединения  $[\text{Os}(\text{CO})_5]$ . Определите степень окисления комплексобразователя.

3. Пользуясь числовым значением общей константы устойчивости для катионов гексаамминкобальта(III), вычислите числовое значение общей константы нестойкости



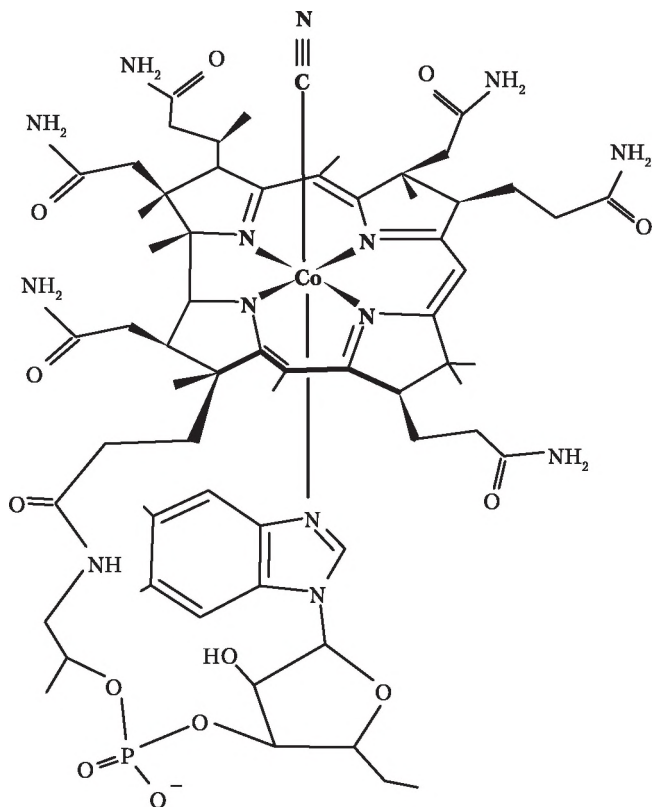
для этого комплексного катиона. Устойчив ли он в водном растворе?

4. Вычислите равновесную концентрацию гидратированных катионов  $\text{Zn}^{2+}$  в растворе, содержащем 0,01 моль/л тетрацианоцинката(II) натрия и 0,1 моль/л цианида натрия.

5. Укажите тип гибридизации орбиталей центрального атома и геометрическую конфигурацию внутренней координационной сферы в диiodоаргентате(I) натрия.

### Вариант 23

1. Определите координационное число иона-комплексобразователя в лекарственной форме витамина  $\text{B}_{12}$  — цианокобаламине, который применяют для лечения злокачественной анемии:



2. Напишите химическую формулу комплексного соединения, которое называется этилендиаминтетраацетатомоноакваферрат(III) рубидия и определите координационное число комплексообразователя. Является ли данное координационное число распространенным?

3. Для многих лигандов справедлив ряд Ирвинга — Вильямса:



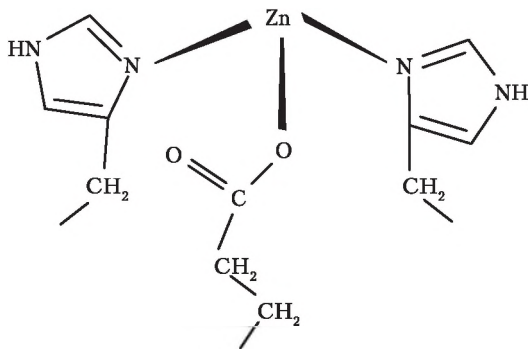
в котором двухзарядные катионы расположены в порядке возрастания устойчивости их комплексов. Проверьте, справедлив ли ряд Ирвинга — Вильямса в отношении комплексных катионов следующих соединений:  $[\text{Ba}(\text{H}_2\text{O})_5\text{NO}_3]\text{NO}_3$ ,  $[\text{Sr}(\text{H}_2\text{O})_5\text{NO}_3]\text{NO}_3$  и  $[\text{Ca}(\text{H}_2\text{O})_5\text{NO}_3]\text{NO}_3$ . Напишите название того комплексного соединения, в состав которого входит наиболее устойчивый комплексный катион. Нитрат-ион в качестве лиганда называется нитрато.

4. Вычислите равновесную концентрацию гидратированных катионов меди(II) в растворе, в 1 л которого содержится 0,005 моль анионов  $[\text{Cu}(\text{P}_2\text{O}_7)_2]^{6-}$  и 0,05 моль пиррофосфата натрия  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ .

5. Определите геометрическую форму комплексного аниона в гексабромовисмутате(III) натрия.

### Вариант 24

1. Активный центр фермента поджелудочной железы млекопитающих карбоксипептидазы А, которая отщепляет концевую аминокислоту от белковой цепи при гидролизе, представляет собой комплексное соединение, в котором комплексообразователем служит катион цинка  $\text{Zn}^{2+}$ . Определите координационное число комплексообразователя в этом комплексе:



2. В соответствии с правилами ИЮПАК составьте название комплексного соединения  $[\text{Co}(\text{en})_2\text{Cl}_2]\text{Cl}$ . Определите координационное число комплексообразователя.

3. На основании числовых значений констант устойчивости определите, в каком направлении смещено равновесие в водном растворе хлорида хрома(III):



4. В 200 мл 0,5 М раствора оксалата натрия растворили 0,278 г кристаллогидрата  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ . Вычислите равновесную концентрацию гидратированных катионов железа(II) в полученном растворе  $\text{Na}_4[\text{Fe}(\text{ox})_3]$ .

5. Укажите тип гибридизации орбиталей центрального атома и геометрическую конфигурацию внутренней координационной сферы в тетрагидроксобериллате(II) натрия.

### Вариант 25

1. На рис. 13.2,  $\delta$  учебника изображена структура внутренней координационной сферы комплексного соединения, в котором лигандом служит анион аминокислоты гистидина. Из скольких атомов состоит тот из двух показанных на рисунке хелатных циклов этого комплекса, в состав которого входят два атома азота?

2. Напишите химическую формулу комплексного соединения, которое называется октациановольфрамат(V) калия, и определите координационное число комплексообразователя. Является ли данное координационное число распространенным?

3. На основании числовых значений констант устойчивости определите, в каком из соединений —  $\text{K}_3[\text{TlI}_4]$  или  $\text{K}[\text{TlI}_4]$  комплексный анион более устойчив. Напишите название этого комплексного соединения. Увеличивается или уменьшается устойчивость комплексных соединений с ростом заряда иона-комплексообразователя?

4. Вычислите равновесную концентрацию гидратированных катионов  $\text{Cu}^{2+}$  в растворе, содержащем 0,002 моль/л диоксалатocupрата(II) натрия и 0,02 моль/л оксалата натрия.

5. Определите геометрическую форму комплексного катиона в сульфате тетраамминцинка(II).

### Вариант 26

1. Под каким названием объединяют лиганды, которые могут занимать одно координационное место у центрального атома-комплексообразователя?

2. В соответствии с правилами ИЮПАК составьте название комплексного соединения  $\text{Na}[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{OH})_4]$ . Определите координационное число комплексообразователя и геометрическую форму внутренней координационной сферы.

3. Пользуясь числовым значением общей константы устойчивости для тетрафторобериллат(II)-иона, вычислите числовое значение общей константы нестойкости для этого комплексного аниона. Устойчив ли он в водном растворе?

4. К 100 мл 2 М раствора аммиака прибавили 100 мл 0,2 М раствора сульфата никеля. Вычислите концентрацию гидратированных катионов  $\text{Ni}^{2+}$  в полученном растворе  $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{4-}$ .

5. Укажите тип гибридизации орбиталей центрального атома и геометрическую конфигурацию внутренней координационной сферы в нитрате тетраамминртути(II).

### Вариант 27

1. Чему равна дентатность оксалат-ионов и этилендиамина?

2. Напишите химическую формулу комплексного соединения, которое называется гексанитрокупрат(II) свинца(II)-калия, и определите заряд внутренней координационной сферы.

3. Для многих лигандов справедлив ряд Ирвинга — Вильямса:



в котором двухзарядные катионы расположены в порядке возрастания устойчивости их комплексов. Проверьте, справедлив ли ряд Ирвинга — Вильямса в отношении комплексных катионов следующих соединений:  $[\text{Ba}(\text{H}_2\text{O})_5\text{OH}]\text{Cl}$ ,  $[\text{Sr}(\text{H}_2\text{O})_5\text{OH}]\text{Cl}$  и  $[\text{Ca}(\text{H}_2\text{O})_5\text{OH}]\text{Cl}$ . Напишите название того комплексного соединения, в состав которого входит наиболее устойчивый комплексный катион.

4. В 200 мл 1 М раствора аммиака растворили 0,25 г медного купороса. Вычислите равновесную концентрацию гидратированных катионов меди в полученном растворе  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ .

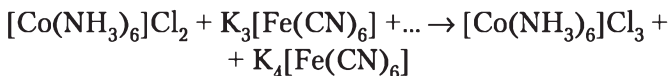
5. Определите геометрическую форму комплексного аниона в тетракис(тиоцианато)меркурате(II) калия.

### Вариант 28

1. Чему равна дентатность этилендиаминтетраацетат-иона?

2. В соответствии с правилами ИЮПАК составьте название комплексного соединения  $K_2[Hg(SCN)_4]$ . Определите тип гибридизации электронных орбиталей комплексообразователя и геометрическую форму внутренней координационной сферы.

3. Закончите уравнение окислительно-восстановительной реакции и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов и ЭДС:



4. Вычислите равновесную концентрацию гидратированных катионов  $Cd^{2+}$  в растворе, содержащем 0,005 моль/л катионов трис(этилендиамин)кадмия(II) и 0,05 моль/л этилендиамина.

5. Укажите тип гибридизации орбиталей центрального атома и геометрическую конфигурацию внутренней координационной сферы в дицианоаурате(I) натрия.

### Вариант 29

1. Как называют во внутренней координационной сфере циклические группировки атомов, которые состоят из полидентатного лиганда и атома металла-комплексобразователя?

2. Напишите химическую формулу пентагидроксоаквантаната(IV) натрия и определите координационное число комплексообразователя.

3. Пользуясь числовым значением общей константы устойчивости для триоксалатоалюминат(III)-иона, вычислите числовое значение общей константы нестойкости для этого комплексного аниона. Устойчив ли он в водном растворе?

4. К 100 мл 2 М раствора этилендиамина прибавили 100 мл 0,2 М раствора сульфата никеля. Вычислите концентрацию гидратированных катионов  $Ni^{2+}$  в полученном растворе.

5. Определите геометрическую форму комплексного аниона в гексахлоровисмутате(III) натрия.

### Вариант 30

1. На рис. 13.3, в учебника изображена структура комплексного соединения, в котором лигандом служит циклический полиэфир 18-краун-6. Определите дентатность этого лиганда.

2. В соответствии с правилами ИЮПАК составьте название комплексного соединения  $\text{Na}_4[\text{Zr}(\text{ox})_4]$ . Определите координационное число комплексообразователя. Является ли это координационное число распространенным?

3. Пользуясь числовым значением общей константы устойчивости для бис(тиосульфато)цинкат(II)-иона, вычислите числовое значение общей константы нестойкости для этого комплексного аниона. Устойчив ли он в водном растворе?

4. В 100 мл 1 М раствора гидроксида натрия растворили 0,27 г металлического алюминия. Вычислите равновесную концентрацию гидратированных катионов алюминия в полученном растворе  $\text{Na}[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{OH})_4]$ .

5. Определите геометрическую форму комплексного катиона и тип гибридизации электронных орбиталей комплексообразователя в бромиде диамминмеди(I).



**Часть II**

# **Химия элементов**





## Глава 10

### Химия s-элементов

---

В результате успешного освоения материала этой главы студент должен:

- **знать:** химические свойства важнейших соединений s-элементов;
- **уметь:** производить вычисления с использованием понятия «жесткость воды», находить массовую долю оксидов s-элементов в соединениях;
- **владеть:** представлениями об ионном обмене и о водородной связи.

**Изучите:** гл. 14–16 учебника.  
**Повторите:** гл. 2, 7, 9, 11, параграфы 8.5 и 8.7 гл. 8 учебника.

---

#### 10.1. Вопросы для подготовки к коллоквиуму

##### По теме «Водород»

1. Каковы окислительно-восстановительные свойства гидрид-ионов, атомов водорода, катионов водорода? Для обоснования ответа воспользуйтесь электронно-структурными формулами названных выше частиц.

2. Химические связи каких типов имеют место в соединениях водорода? Каковы типы химической связи в молекулах следующих веществ: диводород, метан, аммиак, фтороводород, силан, фосфин, хлороводород, диборан, гидрид натрия, гидрид кальция, вода?

3. При помощи каких реакций водород получают в лабораторных и промышленных условиях? В каждой из этих реакций укажите окислитель и восстановитель.

4. Какие реакции протекают при взаимодействии водорода с галогенами, кислородом, серой, азотом, щелочными и щелочно-земельными металлами, оксидами железа(II) и железа(III), оксидом меди? В каждой из этих реакций укажите окислитель и восстановитель.

5. Каковы типы бинарных соединений водорода? К каким типам бинарных соединений относятся следующие вещества: гидрид калия, диборан, алан, гидрид магния, метан, аммиак, иодоводород?

6. Какие реакции протекают при взаимодействии ионных гидридов и молекулярных соединений водорода: а) с водой; б) с галогенами; в) с кислородом?

7. Молекулы каких веществ связаны между собой водородными связями?

8. Почему плотность жидкой воды выше плотности льда?

9. Каковы строение молекулы воды и ее свойства?

10. Каков механизм образования катиона оксония?

11. Какую пространственную конфигурацию имеют молекулы следующих веществ: воды, аммиака, диборана, сероводорода, селеноводорода, теллуридоводорода, фосфина, стибина, метана, силана, германа, станнана? Какова пространственная конфигурация катионов аммония и оксония?

12. Почему хлорид натрия, хлороводород и аммиак растворяются в воде лучше, чем кислород, азот и метан? Какие силы обуславливают образование растворов каждого из этих веществ?

13. Какую роль играют молекулы воды при образовании аквакатионов?

14. Что такое гидратация?

15. Что такое сольватация?

16. Какие химические свойства водорода позволяют относить его и к IA-, и к VIIA-подгруппам периодической системы?

17. Почему молекула водорода состоит из двух, а не из трех атомов? Ответ на этот вопрос дайте, пользуясь представлениями: а) метода валентных связей; б) метода молекулярных орбиталей.

18. Какие физические и химические свойства воды делают возможным существование рыб и водорослей?

### По теме «Щелочные металлы»

1. Какова общая электронная формула элементов IA-подгруппы?

2. Как изменяются в IA-подгруппе радиусы атомов, катионов, энергии ионизации, электроотрицательность?

3. Почему не существуют двухзарядные катионы щелочных металлов?

4. Какие реакции протекают при взаимодействии щелочных металлов с водородом, галогенами, кислородом, азотом, углеродом, кремнием, водой? Как называются образующиеся в результате этих реакций соединения?

5. Почему щелочные металлы проявляют свойства сильных восстановителей?

6. Какие реакции протекают при взаимодействии бинарных соединений щелочных металлов с водой, оксидами, сульфидами, галогенидами?

7. В какой форме присутствуют щелочные металлы в гидросфере и биосфере?

8. Каково строение гидратных оболочек катионов щелочных металлов?

9. Как изменяются в IA-подгруппе радиусы негидратированных катионов, радиусы гидратированных катионов, склонность к образованию кристаллогидратов?

10. Как изменяется в IA-подгруппе растворимость нитратов, перхлоратов, фосфатов, карбонатов?

11. Что такое ионофоры?

12. Что такое ионный обмен, ионит, катионит, анионит?

13. Какова последовательность, в которой катиониты предпочтительно поглощают катионы щелочных металлов?

14. Какие реакции протекают при деструкции ортоклаза и альбита под воздействием воды и углекислого газа?

### **По теме «Элементы IIА-подгруппы»**

1. Какова общая электронная формула элементов IIА-подгруппы?

2. Как изменяются во IIА-подгруппе радиусы атомов, катионов, энергии ионизации, электроотрицательность?

3. Какими уравнениями реакций можно подтвердить амфотерные свойства оксида и гидроксида бериллия?

4. Каковы типы гибридизации электронных орбиталей атома бериллия в следующих соединениях: катион тетрааквабериллия, тетрагидроксобериллат-ион, молекула хлорида бериллия, если это вещество находится в газообразном состоянии?

5. Какие реакции протекают при взаимодействии бинарных соединений магния и кальция с водой?

6. При помощи каких реакций можно получить оксиды магния и кальция?

7. Как изменяются во IIА-подгруппе радиусы негидратированных ионов, радиусы гидратированных ионов?

8. Чем отличается строение гидратных оболочек катионов магния и кальция?

9. Что такое жесткость воды? В каких единицах она измеряется?

10. Что такое общая, карбонатная и некарбонатная жесткость воды? Какими солями она обусловлена?

11. При помощи каких реакций можно устранить жесткость воды?

12. Какие реакции происходят при известковании и гипсовании почв?

13. Почему при гипсовании устраняется избыточная щелочность почв?

15. Какие реакции происходят при взаимодействии гидроксида кальция с оксидами: а) углерода(IV); б) кремния? Какое значение имеют эти реакции в строительстве?

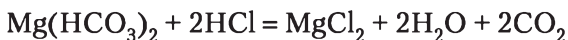
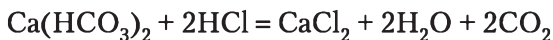
16. Какие свойства катионов магния и кальция являются причиной того, что их роли в живой клетке различаются?

## 10.2. Примеры решения задач

### Задачи на жесткость воды

Жесткость воды измеряется в миллимолях эквивалента на литр (ммоль/л). Общая жесткость воды — это сумма молярных концентраций эквивалентов катионов кальция и магния, выраженных в моль/л. Результаты химического анализа воды часто представляют в виде массовой концентрации, т.е. отношения массы определяемого иона к объему раствора. Единицами измерения массовой концентрации могут быть г/л или мг/л. Для перехода от результатов анализа, представленных в виде массовых концентраций катионов кальция и магния, к жесткости воды (Ж) нужно содержащиеся в 1 л воды массы каждого из катионов (кальция или магния) разделить на молярные массы эквивалентов катионов кальция или магния соответственно.

Молярные массы эквивалента этих катионов рассчитывают, основываясь на уравнениях реакций взаимодействия гидрокарбонатов кальция и магния с хлороводородной кислотой:



Эти реакции используют для определения карбонатной жесткости воды. Из этих реакций очевидно, что катион

кальция или магния эквивалентен двум катионам водорода, поэтому эквивалентом катиона кальция или магния будет условная частица  $1/2$  этого катиона. Следовательно, фактор эквивалентности при расчете молярных масс эквивалента катиона кальция и магния равен  $1/2$  и молярная масса эквивалента каждого из этих катионов равна половине их молярной массы:

$$M(1/2\text{Ca}^{2+}) = 1/2 M(\text{Ca}^{2+}); M(1/2\text{Ca}^{2+}) = 1/2 \cdot 40,08 = 20,04 \text{ г/моль};$$

$$M(1/2\text{Mg}^{2+}) = 1/2 M(\text{Mg}^{2+}); M(1/2\text{Mg}^{2+}) = 1/2 \cdot 24,30 = 12,15 \text{ г/моль}.$$

### Пример 10.1.

**Задача.** Вычислите общую жесткость воды, в 1 л которой содержится 0,105 г катионов  $\text{Ca}^{2+}$  и 0,079 г катионов  $\text{Mg}^{2+}$ . Можно ли назвать такую воду жесткой?

**Решение.**

$$\begin{aligned} m(\text{Ca}^{2+}) &= 0,105 \text{ г} \\ m(\text{Mg}^{2+}) &= 0,079 \text{ г} \\ V &= 1000 \text{ мл} \end{aligned}$$

$$J_{\text{общ}} = ?$$

Для расчета общей жесткости воды сначала находим по отдельности молярные концентрации эквивалентов катионов кальция и магния. Эти концентрации, выраженные в ммоль/л, называют кальциевой жесткостью  $J_{\text{Ca}}$  и магниевой жесткостью  $J_{\text{Mg}}$  соответственно:

$$c(1/2\text{Ca}^{2+}) = \frac{m(\text{Ca}^{2+})}{M(1/2\text{Ca}^{2+}) \cdot V} \cdot 1000 = \frac{0,105}{20,04 \cdot 1000} \cdot 1000 = 5,24 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л};$$

$$J_{\text{Ca}} = 5,24 \text{ ммоль/л};$$

$$c(1/2\text{Mg}^{2+}) = \frac{m(\text{Mg}^{2+})}{M(1/2\text{Mg}^{2+}) \cdot V} \cdot 1000 = \frac{0,079}{12,15 \cdot 1000} \cdot 1000 = 6,50 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л};$$

$$J_{\text{Mg}} = 6,50 \text{ ммоль/л}.$$

Общая жесткость воды равна сумме кальциевой и магниевой жесткости:

$$J_{\text{общ}} = J_{\text{Ca}} + J_{\text{Mg}} = 5,24 + 6,50 = 11,74 \text{ ммоль/л}.$$

Так как общая жесткость воды превышает 10 ммоль/л, вода является жесткой.

**Ответ.** 11,74 ммоль/л, да.

### Пример 10.2.

**Задача.** Вычислите карбонатную жесткость воды, в 500 мл которой содержится 0,16 г гидрокарбоната кальция, 0,12 г сульфата магния и 0,075 г гидрокарбоната магния.

*Решение.*

$$m[\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2] = 0,16 \text{ г}$$

$$m(\text{MgSO}_4) = 0,12 \text{ г}$$

$$m[\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2] = 0,075 \text{ г}$$

$$V = 500 \text{ мл}$$

$$Ж_{\text{общ}} = ?$$

Карбонатная жесткость обусловлена наличием в воде не всех солей кальция и магния, а только гидрокарбонатов этих металлов. Из химических формул, приведенных в условии задачи солей, очевидно, что 1 моль каждого из гидрокарбонатов содержит 1 моль катионов кальция или магния. Следовательно,

молярные концентрации катионов равны молярным концентрациям их солей:

$$c(\text{Ca}^{2+}) = c[\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2]; c(\text{Mg}^{2+}) = c[\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2].$$

Вычисляем молярные концентрации гидрокарбонатов кальция и магния:

$$\begin{aligned} c[\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2] &= \frac{m[\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2]}{M[\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2] \cdot V} 1000 = \\ &= \frac{0,16}{162 \cdot 500} 1000 \approx 2 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c[\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2] &= \frac{m[\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2]}{M[\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2] \cdot V} 1000 = \\ &= \frac{0,075}{146 \cdot 500} 1000 \approx 1 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л}. \end{aligned}$$

Отсюда  $c(\text{Ca}^{2+}) = 2 \cdot 10^{-3}$  моль/л,  $c(\text{Mg}^{2+}) = 1 \cdot 10^{-3}$  моль/л.

Находим соотношение между молярной концентрацией катиона  $\text{Ca}^{2+}$  и молярной концентрацией эквивалента этого катиона. Для этого записываем расчетные уравнения для обоих способов выражения состава раствора. Молярная концентрация катиона кальция равна

$$c(\text{Ca}^{2+}) = \frac{m(\text{Ca}^{2+})}{M(\text{Ca}^{2+}) \cdot V} 1000.$$

Фактор эквивалентности катиона кальция при расчете жесткости воды равен  $1/2$ , поэтому молярная концентрация эквивалента этого катиона равна

$$c(1/2\text{Ca}^{2+}) = \frac{m(\text{Ca}^{2+})}{1/2M(\text{Ca}^{2+}) \cdot V} 1000.$$

Решаем оба уравнения относительно массы растворенного вещества:

$$m(\text{Ca}^{2+}) = \frac{c(\text{Ca}^{2+}) \cdot M(\text{Ca}^{2+}) \cdot V}{1000};$$

$$m(\text{Ca}^{2+}) = \frac{c(1/2\text{Ca}^{2+}) \cdot 1/2M(\text{Ca}^{2+}) \cdot V}{1000}.$$

Так как масса растворенного вещества при изменении способа выражения состава раствора не изменяется, левые части обоих уравнений равны, поэтому можно приравнять и их правые части:

$$\frac{c(\text{Ca}^{2+}) \cdot M(\text{Ca}^{2+}) \cdot V}{1000} = \frac{c(1/2\text{Ca}^{2+}) \cdot 1/2M(\text{Ca}^{2+}) \cdot V}{1000}.$$

Сокращаем обе части полученного уравнения на 1000, на  $V$  и на  $M(\text{Ca}^{2+})$  и получаем уравнение, которое показывает, что молярная концентрация эквивалента катиона кальция в 2 раза превышает молярную концентрацию этого катиона:

$$c(1/2\text{Ca}^{2+}) = 2c(\text{Ca}^{2+}).$$

Аналогично можно показать, что

$$c(1/2\text{Mg}^{2+}) = 2c(\text{Mg}^{2+}).$$

Находим молярные концентрации эквивалента катионов кальция и магния, входящих в состав гидрокарбонатов этих металлов:

$$c(1/2\text{Ca}^{2+}) = 2 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л} = 4 \text{ ммоль/л};$$

$$c(1/2\text{Mg}^{2+}) = 2 \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л} = 2 \text{ ммоль/л};$$

$$Ж_{\text{карб}} = 4 + 2 = 6 \text{ ммоль/л}.$$

*Ответ.* 6 ммоль/л.

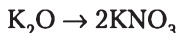
### Задачи на расчет массовой доли оксида s-элемента

В агрохимии и минералогии содержание элементов часто приводят в пересчете на их оксиды. В частности, содержание калия в калийных удобрениях выражают в пересчете на оксид калия, который называют действующим веществом. Для пересчета нужно прежде всего составить схему превращения оксида калия в соответствующее минеральное удобрение, уравнивая при помощи стехиометрических коэффициентов число атомов калия в химических формулах обоих веществ. Затем, учитывая полученные в схеме превращения стехиометрические коэффициенты, вычислить массовую долю оксида калия.

#### Пример 10.3.

*Задача.* Вычислите массовую долю (%) калия в пересчете на оксид калия в нитрате калия.

*Решение.* Составляем схему превращения оксида калия в нитрат калия:



С учетом полученных в схеме превращения стехиометрических коэффициентов вычисляем массовую долю оксида калия как

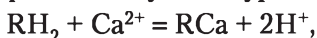
отношение его молярной массы к двум молярным массам нитрата калия:

$$\omega(\text{K}_2\text{O}) = \frac{M(\text{K}_2\text{O})}{2M(\text{KNO}_3)} 100 = \frac{94,2}{2 \cdot 101,1} 100 = 46,5\%.$$

Ответ. 46,5%.

### Задачи на ионный обмен

Задачи этого типа предназначены для того, чтобы продемонстрировать студентам эквивалентность ионного обмена. Эквивалентность ионного обмена заключается в том, что количество вещества эквивалента иона, перешедшего из раствора в состав ионита, равно количеству вещества эквивалента иона, вытесненного из ионита и перешедшего в раствор. Например, если через слой катионита в H-форме пропускать раствор соли кальция, то катионы  $\text{Ca}^{2+}$  могут вытеснять катионы  $\text{H}^+$ . В результате катионы кальция будут поглощаться катионитом, а катионы водорода переходить в раствор. При этом каждый катион  $\text{Ca}^{2+}$  будет вытеснять в раствор два катиона  $\text{H}^+$ , т.е. каждый катион кальция эквивалентен двум катионам водорода. Такой процесс можно изобразить следующим уравнением:



где R — каркас катионита.

Понятно, что в результате ионного обмена масса ионита изменяется. Это изменение можно было бы легко вычислить, если принимать во внимание только массы негидратированных ионов. В реальности же ионы в растворе гидратированы и при их переходе из раствора в катионит строение гидратной оболочки изменяется. Учесть изменение массы катионита в результате такой перестройки гидратных оболочек очень сложно. Однако и упрощенный расчет, рассмотренный в примере 10.4, может представлять определенный интерес.

#### Пример 10.4.

**Задача.** Вычислите увеличение массы (г) катионита RNa в результате полного поглощения им катионов калия из 5 л 0,02 М раствора KCl.

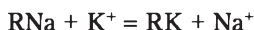
**Решение.**

$$\begin{aligned} V(\text{раствора}) &= 5 \text{ л} \\ c(\text{KCl}) &= 0,02 \text{ моль/л} \end{aligned}$$

$$\Delta m(\text{катионита}) = ?$$

В 5 л 0,02 М раствора содержится  $5 \cdot 0,02 = 0,1$  моль хлорида калия.

Поскольку ионный обмен является эквивалентным, то в соответствии с уравнением реакции





при поглощении 0,1 моль калия в раствор из катионита переходит 0,1 моль натрия. Молярная масса калия больше молярной массы натрия, поэтому масса катионита увеличивается на:

$$\Delta m = n(\text{K}^+) \cdot M(\text{K}^+) - n(\text{Na}^+) \cdot M(\text{Na}^+) = 0,1 \cdot 39,1 - 0,1 \cdot 23,0 = 1,6 \text{ г.}$$

Ответ. 1,6 г.

### 10.3. Индивидуальные задания

#### Вариант 1

1. Массовая доля воды в листьях капусты составляет 86%. Вычислите количество вещества (моль) воды в 100 г капустных листьев.

2. Каким электролитом (сильным или слабым) является гидроксид калия? Вычислите pH 1 М раствора этого основания. Коэффициент активности см. на с. 76 учебника. Можно ли в данном случае пренебречь отличием активности от концентрации?

3. В Германии жесткость воды выражают в немецких градусах жесткости: 1 немецкий градус жесткости ( $^{\circ}\text{dH}$ ) отвечает содержанию 10 мг СаО в 1 л воды. Для выращивания аквариумной рыбки гурами жемчужного (*Trichogaster leeri*) рекомендуемая жесткость воды колеблется в пределах от 8 до 10 $^{\circ}\text{dH}$ . Переведите эти значения в единицы жесткости, принятые в нашей стране. Можно ли назвать такую воду мягкой?

4. Какую геометрическую форму имеет катион оксония? Укажите тип гибридизации электронных орбиталей центрального атома.

5. Составьте уравнение реакции магнийтермического восстановления фторида бериллия и вычислите молярную массу эквивалента восстановителя в этой реакции.

#### Вариант 2

1. В живых организмах устанавливаются постоянные концентрации долгоживущих радиоактивных изотопов. Около 90% суммарной активности этих изотопов приходится на природный изотоп  $^{40}\text{K}$ . Катионы калия попадают в организм с растительной пищей и молоком, массовая доля катионов калия в котором  $1,4 \cdot 10^{-3}\%$ . Вычислите массу (мг)  $^{40}\text{K}$ , попадающего в организм с 1 л молока плотностью 1,031 г/мл, если массовая доля  $^{40}\text{K}$  составляет 0,0118% от массы всех атомов калия.

2. Каким электролитом (сильным или слабым) является гидроксид натрия? Вычислите рН раствора гидроксида натрия, в 500 мл которого содержится 4 г этого основания. Коэффициент активности равен 0,725.

3. Вычислите общую жесткость воды, взятой с поверхности озера Байкал, если в 500 мл ее содержится 7,6 мг катионов кальция и 2,1 мг катионов магния. Можно ли называть такую воду мягкой?

4. Какую геометрическую форму имеет молекула воды? Укажите тип гибридизации электронных орбиталей центрального атома.

5. В почвах, отвоеванных у моря, серные бактерии окисляют минерал пирит до серной кислоты. В результате почвы делаются непригодными для сельскохозяйственного производства из-за снижения их рН до 1. Напишите химическую формулу химического мелиоранта, который следует применить для нейтрализации таких почв.

### Вариант 3

1. Напишите числовые значения четырех квантовых чисел для валентного электрона в атоме натрия.

2. Какую массу (г) гидроксида калия нужно взять для приготовления 10 л раствора этого сильного основания с  $\text{pH} = 11,4$ ? Отличием активности от концентрации пренебречь.

3. До начала 1950-х гг. жесткость воды в нашей стране выражали в градусах жесткости: 1 градус жесткости ( $^{\circ}\text{Ж}$ ) отвечал содержанию 10 мг СаО в 1 л воды. Вычислите жесткость воды в принятых в настоящее время единицах, если в книге, изданной в первой половине XX в., указано, что она равна  $2^{\circ}\text{Ж}$ . Можно ли назвать такую воду мягкой?

4. Какую геометрическую форму имеет молекула фторида бериллия, когда это вещество находится в газообразном состоянии? Укажите тип гибридизации электронных орбиталей атома бериллия.

5. Составьте уравнение реакции взаимодействия карбида кальция с водой и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов. Назовите газообразный продукт реакции.

### Вариант 4

1. Напишите условное обозначение внутреннего электронного остова атома стронция.

2. Вычислите рН 0,04%-го раствора гидроксида натрия. Коэффициент активности равен 0,905. Плотность раствора принять равной 1 г/мл.

3. Вычислите общую жесткость воды реки Волги, если в 1 л ее содержится 191,7 мг гидрокарбоната кальция, 81,9 мг хлорида натрия, 20,4 мг сульфата кальция и 60 мг сульфата магния. Можно ли назвать такую воду мягкой?

4. Вычислите массовую долю (%) калия в пересчете на оксид калия в калимагнезии.

5. Составьте уравнение реакции взаимодействия фосфида магния с водой и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов.

### Вариант 5

1. Напишите числовые значения четырех квантовых чисел для валентного электрона в атоме калия.

2. Каким электролитом (сильным или слабым) является гидроксид рубидия? Вычислите рН раствора гидроксида рубидия, в 0,1 л которого содержится 10,3 мг этого основания. Можно ли в данном случае пренебречь отличием активности от концентрации?

3. В США жесткость воды измеряют в частях на миллион (ppm): 1 ppm соответствует содержанию 1 мг  $\text{CaCO}_3$  в 1 л воды. Вычислите жесткость воды в единицах, принятых в нашей стране, если она равна 60 ppm. Можно ли такую воду назвать жесткой?

4. Вычислите массовую долю (%) калия в пересчете на оксид калия в хлориде калия.

5. Составьте уравнение реакции взаимодействия гидрида натрия с водой и вычислите молярную массу эквивалента восстановителя в этой реакции.

### Вариант 6

1. Напишите условное обозначение внутреннего электронного остова атома кальция.

2. Растворимость в воде у гидроксида бария намного больше, чем у гидроксида кальция: при 20°C в 100 г воды растворяется 3,89 г гидроксида бария и только 0,16 г гидроксида кальция. Вычислите, во сколько раз массовая доля гидроксида бария в насыщенном растворе больше, чем массовая доля гидроксида кальция.

3. Вычислите общую жесткость воды реки Дон, в 1 л которой содержится 46 мг катионов кальция и 17 мг катионов магния. Можно ли назвать такую воду мягкой?

4. Вычислите объем водорода (л; н.у.), выделяющегося при взаимодействии 27 г алюминия с раствором гидроксида натрия, взятым в избытке.

5. Какую геометрическую форму имеет молекула хлорида бериллия, когда это вещество находится в газообразном состоянии?

### Вариант 7

1. Напишите числовые значения четырех квантовых чисел для валентного электрона в атоме рубидия.

2. Какой объем (мл) 20%-го раствора гидроксида натрия плотностью 1,22 г/мл нужно взять, чтобы приготовить 500 мл раствора, рН которого равен 12? Отличием активности от концентрации пренебречь.

3. В некоторых водах центральных районов России, Западной Сибири и Якутии содержание стронция может достигать 25 мг/л. По аналогии с кальциевой и магниевой жесткостью вычислите стронциевую жесткость такой воды в ммоль/л.

4. Вычислите массовую долю (%) магния в доломите.

5. Напишите уравнение реакции взаимодействия метана с водяным паром при высокой температуре и вычислите молярную массу эквивалента восстановителя.

### Вариант 8

1. Напишите условное обозначение внутреннего электронного остова атома магния.

2. Вычислите рН 0,006 М раствора гидроксида натрия. Отличием активности от концентрации пренебречь.

3. Вычислите общую жесткость воды реки Кубань, в 500 мл которой содержится 28,0 мг катионов кальция и 6,1 мг катионов магния. Можно ли назвать такую воду жесткой?

4. Напишите уравнение реакции получения водорода при взаимодействии металлического алюминия с раствором гидроксида натрия и вычислите молярную массу эквивалента восстановителя.

5. Вычислите массовую долю (%) магния в каините.

### Вариант 9

1. Напишите числовые значения четырех квантовых чисел для валентного электрона в атоме цезия.

2. Вычислите рН 0,002 М раствора гидроксида натрия. Отличием активности от концентрации пренебречь.

3. В 1 л воды озера Байкал, взятой с глубины 1000 м, содержится 15,2 мг катионов кальция и 4,0 мг катионов магния. Вычислите общую жесткость такой воды. Можно ли назвать ее мягкой?

4. Вычислите массовую долю (%) магния в магнезите.

5. Напишите химическую формулу наиболее термодинамически устойчивого бинарного соединения лития.

### Вариант 10

1. Напишите условное обозначение внутреннего электронного остова атома бериллия. Напишите химический символ щелочного металла, имеющего такой же электронный остов.

2. Каким электролитом (сильным или слабым) является гидроксид цезия? Вычислите pH раствора гидроксида цезия, в 50 мл которого содержится 1,5 г этого основания. Коэффициент активности равен 0,774.

3. В 1 л дренажных вод Волгоградской области содержится 74,0 мг катионов кальция и 49,8 мг катионов магния. Вычислите общую жесткость такой воды. Можно ли назвать ее мягкой?

4. Вычислите массовую долю (%) бериллия в пересчете на оксид бериллия в берилле.

5. Напишите уравнение реакции взаимодействия оксида бериллия с серной кислотой и назовите образующееся комплексное соединение.

### Вариант 11

1. Напишите числовые значения четырех квантовых чисел для валентного электрона в атоме франция.

2. Вычислите массу (мг) гидроксида натрия, содержащегося в 1 л раствора, pH которого 10,23. Отличием активности от концентрации пренебречь.

3. В Великобритании жесткость воды выражают в английских градусах жесткости ( $^{\circ}E$ ), которые называют также градусами Кларка ( $^{\circ}\text{Clarke}$ ): 1 градус Кларка соответствует содержанию 1 грана карбоната кальция в 1 британском галлоне воды. Вычислите жесткость воды в единицах, принятых в нашей стране, если она равна  $5^{\circ}\text{Clarke}$ . Гран — единица массы, равная 0,06479891 г, британский галлон — единица объема, равная 4,546 л.

4. Напишите уравнение реакции взаимодействия оксида бериллия с гидроксидом натрия и назовите образующееся комплексное соединение.

5. Вычислите объем водорода (л; н.у.), выделяющегося при взаимодействии 6,54 г цинка с хлороводородной кислотой, взятой в избытке.

### Вариант 12

1. Напишите условное обозначение внутреннего электронного остова атома цезия. Напишите химический символ щелочного металла, имеющего такой же электронный остов.

2. Вычислите массу (мг) гидроксида калия, содержащегося в 2 л раствора, рН которого равен 11,3. Отличием активности от концентрации пренебречь.

3. В воде реки Кубань молярные концентрации эквивалентов солей равны (ммоль/л): гидрокарбоната кальция — 2,7; хлорида магния — 1; сульфата кальция — 0,1; сульфата натрия — 1,3. Во сколько раз временная жесткость этой воды больше, чем постоянная?

В 100 мл воды Веселовского водохранилища содержится 49,8 мг сульфата магния, 16,3 мг сульфата кальция и 26,7 мг гидрокарбоната кальция. Вычислите общую жесткость этой воды. Можно ли назвать ее жесткой?

4. Вычислите массовую долю (%) кальция в флюорите.

5. Сколькими водородными связями связана каждая молекула воды с соседними  $\text{H}_2\text{O}$  в кристаллической решетке льда?

### Вариант 13

1. Напишите числовые значения четырех квантовых чисел для валентного электрона в атоме водорода.

2. Вычислите массу (мг) гидроксида рубидия, содержащегося в 500 мл раствора, рН которого равен 10,7. Отличием активности от концентрации пренебречь.

3. В 1 л воды Цимлянского водохранилища содержится 176 мг катионов кальция и 67,2 мг катиона магния. Вычислите общую жесткость этой воды. Можно ли назвать ее жесткой?

4. Вычислите объем водорода (л; н.у.), выделяющегося при взаимодействии 13,08 г цинка с разбавленным раствором серной кислоты, взятой в избытке.

5. Во сколько раз среднее время жизни молекулы воды в гидратной оболочке магния больше той же величины для катиона кальция?

### Вариант 14

1. Напишите условное обозначение внутреннего электронного остова атома рубидия. Напишите химический

символ щелочно-земельного металла, имеющего такой же электронный остов.

2. Вычислите массу (мг) гидроксида цезия, содержащегося в 1 л раствора, рН которого равен 11,6. Отличием активности от концентрации пренебречь.

3. Во сколько раз карбонатная жесткость воды реки Волги превышает ее некарбонатную жесткость, если в 1 л ее содержится 0,2190 г гидрокарбоната кальция, 0,0819 г хлорида натрия, 0,0204 г сульфата кальция и 0,0600 г сульфата магния.

4. Вычислите объем водорода (л; н.у.), выделяющегося при взаимодействии 2,3 г гидрида натрия с водой, взятой в избытке.

5. Во сколько раз растворимость гидроксида кальция превышает растворимость гидроксида магния?

### Вариант 15

1. Напишите числовые значения четырех квантовых чисел для 20-го электрона в атоме кальция.

2. Каким электролитом (сильным или слабым) является гидроксид рубидия? Какую массу (г) этого основания нужно взять для приготовления 1 л раствора с рН = 10,6? Отличием активности от концентрации пренебречь.

3. Вычислите общую жесткость воды Онежского озера, если в 500 мл ее содержится 27,1 мг катионов кальция и 0,8 мг катионов магния. Можно ли назвать такую воду мягкой?

4. Во сколько раз массовая доля (%) калия в хлориде калия больше, чем в калимагнезии?

5. Вычислите молярную концентрацию 1%-го раствора нитрата калия (плотность равна 1,004 г/мл).

### Вариант 16

1. При помощи электронно-структурной формулы атома бериллия определите число неспаренных электронов в этом атоме в основном и возбужденном состояниях.

2. Вычислите массу гидроксида калия, содержащегося в 100 мл раствора, рН которого равен 10,90. Отличием активности от концентрации пренебречь.

3. По российским стандартам общая жесткость водопроводной воды не должна превышать 3,5 ммоль/л. Какая масса (г) гидрокарбоната кальция содержится в 1 л воды с такой жесткостью, если жесткость обусловлена только этой солью?

4. Вычислите объем водорода (л; н.у.), выделяющегося при взаимодействии 4,2 г гидрида кальция с водой, взятой в избытке.

5. Вычислите увеличение массы (г) катионита RNa после полного поглощения им калия из 100 мл 0,01 М раствора KCl.

### Вариант 17

1. Напишите числовые значения четырех квантовых чисел для второго электрона в атоме гелия.

2. Какой объем (мл) 10%-го раствора гидроксида натрия плотностью 1,11 г/мл нужно взять, чтобы приготовить 2 л раствора, pH которого равен 11?

3. В 1 л воды Таганрогского залива содержится 304,0 мг катионов кальция и 326,4 мг катионов магния. Вычислите общую жесткость этой воды. Можно ли назвать ее мягкой?

4. Вычислите молярную концентрацию 2%-го раствора нитрата калия (плотность = 1,011 г/мл).

5. Напишите уравнение реакции с участием сульфата кальция, происходящей при добавлении к жесткой воде карбоната натрия, и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов.

### Вариант 18

1. Напишите условное обозначение внутреннего электронного остова атома калия. Напишите химический символ щелочно-земельного металла, имеющего такой же электронный остов.

2. Вычислите массу (г) гидроксида калия, содержащегося в 1 л раствора, pH которого равен 13. Коэффициент активности равен 0,798.

3. В речной воде наиболее велико содержание катионов кальция, натрия, магния и калия. Вычислите среднюю жесткость речной воды, если массовые доли перечисленных катионов в  $\text{млн}^{-1}$  равны: кальция — 20; натрия — 5,4; магния — 3,4; калия — 2,1. Плотность речной воды принять равной 1 г/мл.

4. Вычислите уменьшение массы (мг) катионита RNa после полного поглощения им кальция из 1 л воды, жесткость которой равна 3,5 ммоль/л и обусловлена только гидрокарбонатом кальция.

5. Во сколько раз растворимость (в моль/1000 г  $\text{H}_2\text{O}$ ) перхлората натрия больше растворимости перхлората калия?



**Вариант 19**

1. Напишите числовые значения четырех квантовых чисел для четвертого электрона в атоме бериллия.

2. Вычислите массу гидроксида калия, содержащегося в 500 мл раствора, pH которого равен 14. Коэффициент активности равен 0,68.

3. В воде Мирового океана наиболее велико содержание катионов натрия, магния, кальция и калия. Вычислите среднюю жесткость воды Мирового океана, если массовые доли перечисленных катионов в  $\text{млн}^{-1}$  равны: натрия — 10 560; магния — 1270; кальция — 400; калия — 380. Можно ли назвать воду Мирового океана мягкой? Плотность воды Мирового океана принять равной 1,025 г/мл.

4. Вычислите увеличение массы (мг) катионита RNa после полного поглощения им калия из 100 мл 0,02 М раствора KCl.

5. Напишите название молекулярного механизма, осуществляющего активный транспорт ионов в клетке.

**Вариант 20**

1. Напишите условное обозначение внутреннего электронного остова атома натрия.

2. Каким электролитом (сильным или слабым) является гидроксид цезия? Какую массу (г) этого основания нужно взять для приготовления 1 л раствора с  $\text{pH} = 10,7$ ? Отличим активности от концентрации пренебречь.

3. В 500 мл воды содержится 7 ммоль гидрокарбоната кальция и 0,15 ммоль гидрокарбоната магния. Какая масса (г) гидроксида кальция (гашеной извести) потребуется для того, чтобы уменьшить жесткость воды до допустимого по российским стандартам значения 3,5 ммоль/л?

4. Сколько химических связей  $\text{Mg}-\text{N}$  имеется в молекуле хлорофилла?

5. Какое из соединений водорода с элементами VIA-подгруппы имеет самую высокую температуру кипения? Напишите его химическую формулу и название типа химической связи, обуславливающего аномально высокую температуру кипения этого вещества.

**Вариант 21**

1. Напишите числовые значения четырех квантовых чисел для 12-го электрона в атоме магния.

2. Вычислите  $pH$  0,004 н. раствора гидроксида рубидия. Можно ли в данном случае пренебречь отличием активности от концентрации?

3. Французский градус жесткости ( $^{\circ}F$ ) соответствует содержанию 1 части карбоната кальция в 100 000 частях воды (по массе). Вычислите жесткость воды в единицах, принятых в нашей стране, если она равна  $50^{\circ}F$ . Можно ли назвать такую воду жесткой?

4. Напишите химическую формулу соединения кальция, кристаллы которого являются неорганическими компонентами скелета позвоночных животных.

5. Какое из соединений водорода с элементами VIIA-подгруппы имеет самую высокую температуру кипения? Напишите его химическую формулу и название типа химической связи, обуславливающего аномально высокую температуру кипения этого вещества.

### Вариант 22

1. Напишите химический символ самого электроотрицательного из s-элементов.

2. Вычислите  $pH$  0,005 н. раствора гидроксида калия. Можно ли в данном случае пренебречь отличием активности от концентрации?

3. Для обеспечения нормальной жизнедеятельности человека содержание катионов кальция в питьевой воде не должно быть меньше 30 мг/л, аналогичная величина для катионов магния равняется 10 мг/л. Вычислите жесткость воды, отвечающей этим требованиям.

4. Во сколько раз суточная потребность организма взрослого человека в кальции превышает его потребность в магнии?

5. Какое из соединений водорода с элементами VIA-подгруппы имеет самую высокую температуру плавления? Напишите его химическую формулу и название типа химической связи, обуславливающего аномально высокую температуру плавления этого вещества.

### Вариант 23

1. Напишите числовые значения четырех квантовых чисел для 38-го электрона в атоме стронция.

2. Вычислите  $pH$  0,002 М раствора гидроксида натрия. Можно ли в данном случае пренебречь отличием активности от концентрации?

3. В дождевой воде наиболее велико содержание катионов натрия, кальция, магния и калия. Вычислите среднюю

жесткость дождевой воды, если массовые доли перечисленных катионов в  $\text{млн}^{-1}$  равны: натрия — 1,1; кальция — 0,97; магния — 0,36; калия — 0,26. Плотность дождевой воды принять равной 1 г/мл.

4. Во сколько раз содержание кальция в организме человека выше содержания магния?

5. Вычислите массовую долю (%) хлорида калия в карналлите.

### Вариант 24

1. Напишите условное обозначение внутреннего электронного остова атома лития.

2. Вычислите pH 0,05 М раствора гидроксида натрия. Коэффициент активности равен 0,82.

3. Вычислите массу (г) гидроксида кальция (гашеной извести), которая потребуется для умягчения 50 мл воды, содержащей 0,6 ммоль гидрокарбоната кальция и 0,2 ммоль гидрокарбоната магния.

4. Во сколько раз речной сток кальция превышает речной сток магния?

5. В 100 мл воды растворили 21,9 г кристаллогидрата  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Вычислите массовую долю хлорида кальция в полученном растворе.

### Вариант 25

1. Напишите числовые значения четырех квантовых чисел для 56-го электрона в атоме бария.

2. Какой объем (мл) 12%-го раствора гидроксида рубидия плотностью 1,12 г/мл нужно взять, чтобы приготовить 1 л раствора, pH которого равен 12? Отличием активности от концентрации пренебречь.

3. Вычислите массу (г) карбоната натрия (соды), которая потребуется для умягчения 100 мл воды, содержащей 0,4 ммоль хлорида кальция, 0,2 ммоль сульфата кальция и 0,1 ммоль сульфата магния.

4. Вычислите массовую долю (%) кальция в кристаллогидрате  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ .

5. Напишите название ионита, если обменивающиеся ионы — катионы.

### Вариант 26

1. Напишите химический символ самого электроотрицательного элемента IА-подгруппы.

2. Вычислите pH 0,02 н. раствора гидроксида натрия. Коэффициент активности равен 0,86.

3. Вычислите массу (г) гидроксида кальция (гашеной извести), которая потребуется для умягчения 200 мл воды, содержащей 2 ммоль гидрокарбоната кальция и 0,5 ммоль гидрокарбоната магния.

4. Напишите уравнение реакции, происходящей при гипсовании почв, и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов.

5. Во сколько раз концентрация калия внутри клетки превышает его концентрацию вне клетки?

### Вариант 27

1. Напишите числовые значения четырех квантовых чисел для 88-го электрона в атоме радия.

2. Какой объем (мл) 0,1 М раствора гидроксида натрия нужно взять, чтобы приготовить 100 мл раствора, рН которого равен 11,4?

3. Вычислите массу (г) карбоната натрия (соды), которая потребуется для умягчения 250 мл воды, содержащей 1,5 ммоль хлорида кальция, 1 ммоль сульфата кальция и 0,5 ммоль сульфата магния.

4. Как называется процесс внесения соединений кальция в почву для устранения ее избыточной щелочности? Напишите химическую формулу соли кальция, которая используется с этой целью.

5. Напишите название процесса движения ионов из области с большей концентрацией в область с меньшей концентрацией сквозь клеточную мембрану.

### Вариант 28

1. Напишите химический символ s-элемента, катионы которого нейтрализуют заряд фосфатных групп молекулы ДНК, что способствует стабилизации двойной спирали этой кислоты.

2. Вычислите рН 0,02 М раствора гидроксида калия. Коэффициент активности равен 0,86.

3. Вычислите массу (г) гидроксида кальция, которая потребуется для умягчения 100 мл воды, содержащей 0,6 ммоль гидрокарбоната кальция и 0,2 ммоль гидрокарбоната магния.

4. Напишите уравнение реакции, происходящей при известковании почв, и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов.

5. Напишите название клеточного механизма, осуществляющего активный транспорт катионов калия внутрь клетки.

**Вариант 29**

1. Напишите числовые значения четырех квантовых чисел для второго электрона в гидрид-ионе.

2. В 1 л насыщенного раствора гидроксида кальция, который называют известковой водой, при 25°C содержится 1,52 г  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Вычислите pH такого раствора. Диссоциацией по второй ступени пренебречь.

3. Вычислите массу (г) карбоната натрия, которая требуется для умягчения 500 мл воды, содержащей 3 ммоль хлорида кальция, 2 ммоль сульфата кальция и 1 ммоль сульфата магния.

4. Как называется процесс внесения соединений кальция в почву для устранения ее избыточной кислотности? Напишите химическую формулу соли кальция, которая используется для этой цели.

5. При затвердевании известкового раствора происходит взаимодействие гидроксида кальция с оксидом кремния. Напишите уравнение этой реакции и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов.

**Вариант 30**

1. Напишите химический символ самого электроотрицательного элемента IA-подгруппы.

2. Каким электролитом (сильным или слабым) является гидроксид цезия? Вычислите pOH раствора гидроксида цезия, в 20 мл которого содержится 0,9 г этого основания. Коэффициент активности равен 0,757.

3. Вычислите массу (г) гидроксида кальция, которая требуется для умягчения 500 мл воды, содержащей 6 ммоль гидрокарбоната кальция и 2 ммоль гидрокарбоната магния.

4. Во сколько раз среднее содержание кальция в почвах превышает среднее содержание магния?

5. Какую массу (г) гидроксида кальция можно получить из 219 г кристаллогидрата  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  и 120 г гидроксида натрия?

# Глава 11

## Химия бора и алюминия

---

В результате успешного освоения материала этой главы студент должен:

— **знать:** химические свойства важнейших соединений бора и алюминия;

**уметь:** находить массовую долю оксидов бора и алюминия в соединениях;

— **владеть:** представлениями о структурах важнейших соединений бора и алюминия.

**Изучите:** гл. 17 учебника.

**Повторите:** параграф 8.7 гл. 8 учебника.

---

### 11.1. Вопросы для подготовки к коллоквиуму

1. Каково электронное строение атомов бора и алюминия?

2. Какой тип химической связи преобладает в соединениях бора?

3. Почему молекулу диборана называют электронодефицитной?

4. В каких агрегатных состояниях находятся при обычных условиях галогениды бора?

5. Каков тип гибридизации электронных орбиталей атома бора в молекулах его галогенидов и ортоборной кислоты?

6. По какому механизму образуются комплексные соединения бора? Какую роль (донора или акцептора) играют при этом атомы бора?

7. Какова структура оксида бора? К какому классу оксидов он относится?

8. Какова структура ортоборной кислоты? Какую геометрическую форму имеют ее молекулы? Каков тип химических связей между молекулами этой кислоты, принадлежащими одному слою? Какие связи существуют между слоями в кристаллах ортоборной кислоты?

9. Какая кислота образуется при частичном обезвоживании ортоборной кислоты? Какое вещество образуется при полном обезвоживании ортоборной кислоты?

10. Какие соли образуются при нейтрализации ортоборной кислоты?

11. Какие соединения бора используют в качестве борных микроудобрений?

12. Какой тип химических связей преобладает в соединениях алюминия?

13. Почему металлический алюминий при обычных условиях не взаимодействует с водой и кислородом воздуха?

14. С какими простыми веществами и с какими кислотами реагирует металлический алюминий? При каком условии металлический алюминий реагирует с водой? В каких реакциях проявляются амфотерные свойства алюминия?

15. Каковы важнейшие кристаллические модификации оксида алюминия? Чем они различаются между собой?

16. Каковы важнейшие кристаллические модификации гидроксида алюминия? Чем они различаются между собой?

17. При помощи каких химических реакций можно получить: а) аморфный гидроксид алюминия; б) гиббсит?

18. В каких реакциях оксид и гидроксид алюминия проявляют амфотерные свойства?

19. Каковы кристаллические модификации метегидроксида алюминия? При помощи какой реакции можно получить бемит?

20. Каково строение аквакатиона алюминия? Сколько молекул воды входит в его первичную гидратную оболочку? Какова его геометрическая форма?

21. По какому иону происходит гидролиз солей, которые алюминий образует с сильными кислотами? Какие соли алюминия гидролизуются необратимо?

22. Какие координационные числа проявляет катион алюминия в комплексных соединениях?

23. Какие соединения алюминия чаще всего встречаются в почвах?

## 11.2. Примеры решения задач

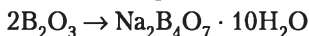
В задачах этой главы наибольшее внимание отведено тем соединениям бора и алюминия, которые являются типичными для этих элементов, часто используются в практической

деятельности или широко распространены в природе. Для бора это прежде всего кислотный оксид бора, борная кислота и тетраборат натрия, отражающие неметаллические свойства бора. Для алюминия — оксид и гидроксид, которые наиболее наглядно демонстрируют амфотерный характер этого элемента. Гораздо меньше задач посвящено галлию, индию и таллию, так как эти элементы не имеют биологического значения.

### Пример 11.1.

**Задача.** Вычислите массовую долю бора (%) в пересчете на оксид бора в буре.

**Решение.** Буря — тривиальное название декагидрата тетрабората натрия. Составляем схему реакции превращения оксида бора в бурю, уравнивая при помощи стехиометрических коэффициентов число атомов бора в левой и правой частях схемы:



Из этой схемы очевидно, что для получения 1 моль буры нужно взять 2 моль оксида бора. Исходя из этого, вычисляем массовую долю оксида бора как отношение двух молярных масс  $\text{B}_2\text{O}_3$  к одной молярной массе буры:

$$\omega = \frac{2M(\text{B}_2\text{O}_3)}{M(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O})} 100\% = \frac{2 \cdot 69}{381} 100 = 36,2\%.$$

**Ответ.** 36,2%.

### Пример 11.2.

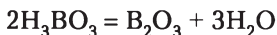
**Задача.** Оксид бора получают длительным прокаливанием ортоборной кислоты. Выделяющиеся при этом пары воды поглощают сильным водоотнимающим средством — оксидом фосфора. Вычислите, какую массу (г) оксида бора можно получить из 5,00 г ортоборной кислоты, если выход составляет 99,5%.

**Решение.**

$$\begin{array}{l} m(\text{H}_3\text{BO}_3) = 5,00 \text{ г} \\ \eta(\text{B}_2\text{O}_3) = 99,5\% \end{array}$$

$$m(\text{B}_2\text{O}_3) = ?$$

Составляем уравнение реакции полного обезвоживания ортоборной кислоты:



Из этого уравнения очевидно, что из 2 моль ортоборной кислоты получается 1 моль оксида бора, т.е. количество вещества образующего оксида бора в 2 раза меньше количества вещества прокаливаемой ортоборной кислоты:

$$n(\text{B}_2\text{O}_3) = 1/2n(\text{H}_3\text{BO}_3).$$

Вычисляем количество вещества ортоборной кислоты:

$$n(\text{H}_3\text{BO}_3) = \frac{m(\text{H}_3\text{BO}_3)}{M(\text{H}_3\text{BO}_3)} = \frac{5,00}{61,83} = 0,08 \text{ моль}.$$



Следовательно, количество вещества оксида бора равно

$$n(\text{B}_2\text{O}_3) = 1/2 \cdot 0,08 = 0,04 \text{ моль.}$$

Рассчитываем, какую массу (г) оксида бора можно получить из 5,00 г ортоборной кислоты теоретически, т.е. исходя из предположения, что выход составляет 100%:

$$m(\text{B}_2\text{O}_3)_{\text{теор}} = M(\text{B}_2\text{O}_3) \cdot n(\text{B}_2\text{O}_3) = 69,62 \cdot 0,04 = 2,79 \text{ г.}$$

Находим массу оксида бора, которую можно получить практически:

$$m(\text{B}_2\text{O}_3)_{\text{практ}} = m(\text{B}_2\text{O}_3)_{\text{теор}} \cdot \eta(\text{B}_2\text{O}_3) = 2,79 \cdot 0,995 = 2,78 \text{ г.}$$

(Обратите внимание, что при расчете выход  $\eta(\text{B}_2\text{O}_3)$  следует переводить из процентов в доли единицы: 99,5% = 0,995.)

*Ответ.* 2,78 г.

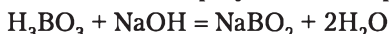
### Пример 11.3.

**Задача.** Какая соль образуется при взаимодействии 37,2 г ортоборной кислоты с 108 мл 10%-го раствора гидроксида натрия плотностью 1,11 г/мл? Вычислите массу образующейся соли.

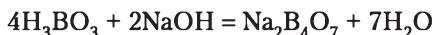
*Решение.*

$$\begin{array}{l} m(\text{H}_3\text{BO}_3) = 37,2 \text{ г} \\ V = 108 \text{ мл} \\ \omega(\text{NaOH}) = 10\% \\ \rho = 1,11 \text{ г/мл} \\ \hline m(\text{соли}) = ? \end{array}$$

В зависимости от соотношений количеств веществ реагирующих между собой ортоборной кислоты и гидроксида натрия могут образовываться бораты разного состава. Например, если количество вещества ортоборной кислоты  $n(\text{H}_3\text{BO}_3)$  относится к количеству вещества гидроксида натрия  $n(\text{NaOH})$  как 1 : 1, то образуется метабора́т натрия:



Эта же соль образуется, если гидроксид натрия взят в избытке. Если же отношение  $n(\text{H}_3\text{BO}_3) : n(\text{NaOH}) = 2 : 1$ , то образуется тетрабора́т натрия:



Исходя из условий задачи, вычисляем количество вещества ортоборной кислоты:

$$n(\text{H}_3\text{BO}_3) = \frac{m(\text{H}_3\text{BO}_3)}{M(\text{H}_3\text{BO}_3)} = \frac{37,2}{61,8} = 0,6 \text{ моль.}$$

Чтобы вычислить количество вещества гидроксида натрия, сначала находим массу этого основания, содержащегося в растворе:

$$m(\text{NaOH}) = \frac{\omega(\text{NaOH}) V \rho}{100} = \frac{10 \cdot 108 \cdot 1,11}{100} = 11,99 \approx 12 \text{ г.}$$

Количество вещества гидроксида натрия равно

$$n(\text{NaOH}) = \frac{m(\text{NaOH})}{M(\text{NaOH})} = \frac{12}{40} = 0,3 \text{ моль.}$$

Итак, количества вещества ортоборной кислоты и гидроксида натрия относятся между собой как 0,6 : 0,3, т.е. как 2 : 1. Следовательно, в растворе образуется тетраборат натрия. Из уравнения соответствующей реакции очевидно, что количество вещества образующегося тетрабората натрия в 4 раза меньше количества вещества ортоборной кислоты, вступившей в реакцию:

$$n(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7) = 1/4 n(\text{H}_3\text{BO}_3) = 1/4 \cdot 0,3 = 0,075 \text{ моль.}$$

Находим массу образовавшегося тетрабората натрия:

$$m(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7) = n(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7) \cdot M(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7) = 0,075 \cdot 201,4 = 15,1 \text{ г.}$$

Ответ.  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ; 15,1 г.

#### Пример 11.4.

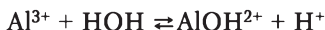
**Задача.** Вычислите pH 0,1 М раствора хлорида алюминия.

**Решение.**

$$c(\text{AlCl}_3) = 0,1 \text{ моль/л}$$

$$\text{pH} = ?$$

Хлорид алюминия — соль, состоящая из катиона слабого основания и аниона сильной кислоты. Такие соли подвергаются гидролизу по катиону, преобладает первая ступень гидролиза:



Из уравнения реакции гидролиза очевидно, что раствор хлорида алюминия имеет кислую реакцию ( $\text{pH} < 7$ ), а слабым электролитом, образующимся в результате гидролиза, является катион  $\text{AlOH}^{2+}$ . Константу диссоциации именно этого катиона и следует подставить в уравнение для расчета pH раствора хлорида алюминия в качестве константы диссоциации слабого основания  $K_{\text{осн}}$ :

$$\text{pH} = 7 + \frac{1}{2} \lg K_{\text{осн}} - \frac{1}{2} \lg c_{\text{соли}}.$$

Числовое значение константы диссоциации катиона  $\text{AlOH}^{2+}$  можно найти в прил. 3. Это константа диссоциации гидроксида алюминия по третьей ступени. Для объяснения выбора константы рассмотрим ступенчатую диссоциацию гидроксида алюминия. На первой ступени диссоциации  $\text{Al}(\text{OH})_3$  происходит отщепление одного гидроксид-иона:

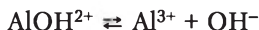


Эта ступень диссоциации характеризуется константой диссоциации  $K_1$ . Вторая ступень диссоциации гидроксида алюминия заключается в диссоциации катиона  $\text{Al}(\text{OH})_2^{2+}$ :



Эта ступень диссоциации характеризуется константой диссоциации  $K_2$ .

Наконец, третья ступень диссоциации гидроксида алюминия — это диссоциация катиона  $\text{AlOH}^{2+}$ :



Эта ступень диссоциации характеризуется константой диссоциации  $K_3$ , которая равна  $1,38 \cdot 10^{-9}$ . Но, как мы уже знаем из уравнения реакции гидролиза, именно катион  $\text{AlOH}^{2+}$  образуется в результате гидролиза. Следовательно, именно его константу диссоциации, т.е. константу диссоциации гидроксида алюминия по третьей ступени, и нужно подставить в расчетное уравнение:

$$\begin{aligned} \text{pH} &= 7 + \frac{1}{2} \lg(1,38 \cdot 10^{-9}) - \frac{1}{2} \lg 10^{-1} = 7 + \frac{1}{2} (0,14 - 9) - \frac{1}{2} (-1) = \\ &= 7 - 4,36 + 0,5 = 3,14. \end{aligned}$$

В результате расчета получено числовое значение pH, меньшее 7, что свидетельствует о кислой реакции раствора хлорида алюминия.

Ответ. 3,14.

### 11.3. Индивидуальные задания

#### Вариант 1

1. Во сколько раз кларк алюминия превышает кларк бора? Можно ли отнести бор к редким рассеянным элементам?

2. Напишите уравнение реакции горения диборана и вычислите молярную массу эквивалента восстановителя.

3. В 96,38 г воды растворили 3,62 г кристаллогидрата  $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Вычислите pH полученного раствора, его плотность равна 1,016 г/мл.

4. Какую массу (г) ортоборной кислоты можно получить из 70 г оксида бора?

5. Определите тип гибридизации электронных орбиталей атома алюминия в гексафтороалюминате(III) натрия. Как называется минерал, в виде которого это комплексное соединение встречается в природе?

#### Вариант 2

1. Вычислите массовую долю (%) бора в пересчете на оксид бора в минерале датолите  $\text{CaB}(\text{OH})\text{SiO}_4$ , который входит в состав борных руд, используемых в промышленности для получения бора и его соединений.

2. Напишите уравнение реакции взаимодействия диборана с водой. Какая кислота образуется в результате реакции?

3. В 500 мл 0,3 М раствора хлороводородной кислоты растворили 1,35 г металлического алюминия. Вычислите рН полученного раствора. Изменением объема в результате реакции пренебречь.

4. Напишите химическую формулу соли, которая образуется при взаимодействии 3,1 г ортоборной кислоты с раствором гидроксида натрия, взятым в избытке. Вычислите массу образующейся соли.

5. Какой объем (л; н.у.) метана выделяется при взаимодействии 28,8 г карбида алюминия с водой?

### Вариант 3

1. Во сколько раз кларк алюминия превышает кларк индия? Можно ли отнести индий к редким рассеянным элементам?

2. Напишите в ионно-молекулярной форме уравнение реакции взаимодействия фторида бора с фторид-ионом. Какая частица в этой реакции играет роль акцептора?

3. В 130 мл 11%-го раствора азотной кислоты плотностью 1,06 г/мл растворили 6,24 г гидроксида алюминия. Полученный раствор разбавили дистиллированной водой так, чтобы его объем стал равным 820 мл. Вычислите рН разбавленного раствора.

4. Какая масса (г) воды вступает в реакцию при превращения 35 г оксида бора в ортоборную кислоту?

5. Какой объем (н.у.) диоксида углерода необходим для превращения 2 моль диакватетрагидроксоалюмината(III) натрия в гиббсит?

### Вариант 4

1. Вычислите массовую долю (%) алюминия в пересчете на оксид алюминия в натриевом полево шпате.

2. Напишите в ионно-молекулярной форме уравнение реакции взаимодействия фторида бора с фторид-ионом. В какой из приведенных в этом уравнении частиц электронные орбитали атома бора находятся в состоянии  $sp^3$ -гибридизации?

3. В 97,2 г воды растворили 2,8 г кристаллогидрата  $AlBr_3 \cdot 6H_2O$ . Вычислите рН полученного раствора, его плотность равна 1,006 г/мл.

4. Вычислите массу (г) метаборной кислоты, которую можно получить из 62 г ортоборной кислоты.

5. Какой объем (л; н.у.) газа выделится при взаимодействии 54 г алюминия с раствором гидроксида натрия, взятым в избытке?

**Вариант 5**

1. Вычислите массовую долю (%) алюминия в пересчете на оксид алюминия в кальциевом полево шпате.

2. Напишите уравнение реакции взаимодействия фторида бора с аммиаком. Какая из этих молекул играет роль акцептора?

3. Фторид алюминия растворяется в воде хуже, чем другие галогениды этого металла. Рассчитайте, во сколько раз массовая доля соли в насыщенном растворе фторида алюминия меньше, чем в насыщенном растворе хлорида алюминия. Для расчета воспользуйтесь следующими данными: при 25°C в 100 г воды растворяется 0,5 г фторида алюминия и 45,1 г хлорида алюминия.

4. Вычислите объем (мл) воды, которая вступает в реакцию при превращении 22 г метаборной кислоты в ортоборную.

5. Какой объем газа (л; н.у.) выделится при взаимодействии 29 г фосфида алюминия с хлороводородной кислотой, взятой в избытке?

**Вариант 6**

1. Вычислите массовую долю (%) алюминия в пересчете на оксид алюминия в калиевом полево шпате.

2. Напишите уравнение реакции взаимодействия элементного бора с расплавленным магнием. Какое вещество образуется в результате этой реакции?

3. Вычислите pH 4%-го раствора хлорида алюминия плотностью 1,035 г/мл.

4. Какая масса (г) воды выделится при обезвоживании 22 г метаборной кислоты?

5. Вычислите объем (л; н.у.) углекислого газа, который вступает в реакцию при превращении 3 моль диаквадотетрагидроксоалюмината(III) натрия в гиббсит.

**Вариант 7**

1. Вычислите массовую долю (%) алюминия в пересчете на оксид алюминия в мусковите.

2. Напишите уравнение реакции, происходящей при нагревании бора с углеродом до температуры выше 1300°C, и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов. Какое вещество образуется в результате этой реакции?

3. Какой объем газа (л; н.у.) выделится при взаимодействии с водой 2 моль карбоната алюминия?

4. Какая масса (г) воды выделится при превращении 62 г ортоборной кислоты в метаборную?

5. Какое из перечисленных ниже соединений алюминия термодинамически неустойчиво: оксид алюминия, гидрид алюминия, фторид алюминия или нитрид алюминия? Напишите уравнение реакции получения этого вещества в результате взаимодействия хлорида алюминия и гидрида лития в неводной среде и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов.

### Вариант 8

1. Сколько неспаренных электронов в атоме бора в основном и возбужденном состояниях? Приведите соответствующие электронно-структурные формулы.

2. Напишите уравнение реакции гидролиза хлорида бора и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов. Какие кислоты образуются в результате этой реакции?

3. Какой объем газа (л; н.у.) выделится при взаимодействии с водой 2 моль сульфида алюминия?

4. Какая масса (г) воды выделится при полном обезвоживании 62 г ортоборной кислоты?

5. Содержание алюминия в высших растениях составляет около 200 мг на 1 кг сухой массы. Вычислите массовую долю (%) алюминия в сухой массе высших растений.

### Вариант 9

1. Вычислите массовую долю (%) бора в пересчете на оксид бора в керните.

2. Напишите уравнение реакции получения метабората калия из ортоборной кислоты и подсчитайте молярную массу эквивалента этой кислоты в данной реакции.

3. В 96,48 г воды растворили 3,52 г кристаллогидрата  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ . Вычислите pH полученного раствора, его плотность равна 1,014 г/мл.

4. Определите пространственную конфигурацию внутренней координационной сферы тетрахлооалюмината(III) натрия.

5. Вычислите массу (г) бемита, который получается при прокаливании 1 моль гидрагиллита.

### Вариант 10

1. Вычислите массовую долю (%) бора в пересчете на оксид бора в сассолине.

2. Напишите уравнение реакции получения тетрабората натрия из ортоборной кислоты и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов.

3. Определите пространственную конфигурацию внутренней координационной сферы тетрабромалюмината(III) натрия.

4. Вычислите массу (г) оксида алюминия, который получается при прокаливании 1 моль бемита.

5. Массовая доля бора в бормагниеком удобрении составляет 2,27%. Вычислите массу (г) бора, которая вносится на 1 га поля, отведенного под сахарную свеклу, с 20 кг этого удобрения.

### Вариант 11

1. Какой из элементов IIIA-подгруппы является в водных растворах сильным восстановителем?

2. Напишите уравнение реакции, происходящей при сильном нагревании бора в атмосфере азота, и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов.

3. Вычислите рН 2%-го раствора хлорида алюминия плотностью 1,016 г/мл.

4. Вычислите массу (г) корунда, который получается при прокаливании 1 моль диаспора.

5. В какой цвет окрашивается пламя при сгорании летучего эфира триэтилбората?

### Вариант 12

1. Из каких структурных единиц состоят все аллотропные модификации бора?

2. Напишите уравнение реакции взаимодействия оксида бора с металлическим магнием и вычислите молярную массу эквивалента окислителя в этой реакции.

3. Вычислите объем (мл) воды, которая вступает в реакцию при превращении 35 г оксида бора в ортоборную кислоту.

4. Какая масса (г) воды выделится при прокаливании 1 моль диаспора при температуре 420°C? В какой кристаллической модификации выделится при этом оксид алюминия?

5. Какое число гидроксид-ионов окружает каждый катион алюминия, входящего в состав гиббсита?

### Вариант 13

1. Для какого элемента IIIA-подгруппы нехарактерна гибридизация с участием *d*-орбиталей?

2. Какую массу (г) алюмокалиевых квасцов надо взять для приготовления 1 л 0,1 М раствора этой соли?

3. Какой объем (н.у.) водорода выделится при растворении 5,4 г алюминия в растворе гидроксида натрия, взятом в избытке?

4. Вычислите рН 0,05 М раствора бромида алюминия.

5. Содержание бора в почвенных растворах достигает 3 мг/л. Вычислите молярную концентрацию ортоборной кислоты в таком растворе.

#### Вариант 14

1. Во сколько раз среднее содержание бора в почвах выше, чем в растениях?

2. Какое число молекул воды входит в состав первичной гидратной оболочки катиона алюминия?

3. Вычислите рН 2%-го раствора бромида алюминия плотностью 1,013 г/мл.

4. Вычислите объем (л; н.у.) диоксида углерода, который вступает в реакцию с диакватетрагидроксоалюминатом(III) натрия, содержащимся в 1 л 0,2 М раствора этого комплексного соединения, при получении гиббсита.

5. Содержание бора в зерне овса составляет в среднем 6,8 мг на 1 кг сухой массы. Вычислите массовую долю (%) бора в зерне овса.

#### Вариант 15

1. Какое место по содержанию в земной коре занимает алюминий: а) среди всех элементов, б) среди металлов?

2. Какую массу (г) кристаллогидрата нитрата алюминия нужно взять для приготовления 1 л 0,1 М раствора этой соли?

3. Какая масса (г) воды выделится при прокаливании 120 г диаспора при температуре 420°C? Какое вещество при этом образуется?

4. Каков тип химических связей между молекулами ортоборной кислоты, обуславливающих слоистую структуру кристаллов этого вещества? Сколько таких связей образует одна молекула ортоборной кислоты?

5. Какую массу (г) тетрабората натрия можно получить при нейтрализации 6,2 г ортоборной кислоты?

#### Вариант 16

1. Какой из элементов IIIA-подгруппы проявляет наибольшую электроотрицательность?

2. Какую массу (г) кристаллогидрата сульфата алюминия нужно взять для приготовления 1 л 0,1 М раствора этой соли?



3. Вычислите массу (г) корунда, который образуется при прокаливании 12 г диаспора.

4. Каков тип химических связей между слоями молекул ортоборной кислоты в кристаллах этого вещества?

5. Содержание бора в черноземах составляет в среднем 54 мг на 1 кг сухой массы почвы. Вычислите массовую долю (%) бора в этих почвах.

### Вариант 17

1. Какое из перечисленных ниже бинарных соединений бора термодинамически неустойчиво: оксид бора, карбид бора, диборан или фторид бора? Напишите уравнение реакции, происходящей при нагревании этого вещества без доступа воздуха, и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов.

2. Вычислите массу (г) алюмокалиевых квасцов, которую нужно взять для приготовления 1 л 0,05 М раствора этой соли.

3. Пользуясь приведенными в скобках числовыми значениями логарифмов общих констант устойчивости, определите, какое из комплексных соединений является более устойчивым: гексафтороалюминат(III) натрия (20,67) или триоксалатоалюминат(III) натрия (16,30). Напишите формулу этого соединения,

4. Вычислите массу (г) ортоборной кислоты, которую можно получить из 7 г оксида бора.

5. Вычислите pH 0,01 М раствора хлорида алюминия.

### Вариант 18

1. Сколько неспаренных электронов в атоме алюминия в основном и возбужденном состояниях? Приведите соответствующие электронно-структурные формулы.

2. Вычислите pH 2%-го раствора нитрата алюминия плотностью 1,014 г/мл.

3. Какую массу (г) гидроксида натрия нужно взять для нейтрализации 31 г ортоборной кислоты, чтобы получить тетраборат натрия?

4. Какой объем (н.у.) водорода можно получить при растворении 54 г алюминия в растворе гидроксида натрия, взятом в избытке?

5. Массовая доля бора в технической борной кислоте, которую используют в сельском хозяйстве в качестве борного микроудобрения, составляет 17,3%. Какую массу (г) чистой ортоборной кислоты содержит 1 кг этого удобрения?

**Вариант 19**

1. Какой из элементов IIIA-подгруппы имеет самую высокую температуру плавления?
2. Какую массу (г) алюмокалиевых квасцов нужно взять для приготовления 1 л 0,01 М раствора этой соли?
3. Какую массу (г) гидроксида натрия нужно взять для нейтрализации 2 моль ортоборной кислоты, чтобы получить тетраборат натрия?
4. Какую массу (г) метаборной кислоты можно получить при обезвоживании 124 г ортоборной кислоты?
5. Массовая доля бора в боросуперфосфате составляет 0,2%. Вычислите массу (кг) бора, которая вносится на 1 га поля, отведенного под сахарную свеклу, с 300 кг этого удобрения.

**Вариант 20**

1. У какого из металлов, входящих в IIIA-подгруппу, самая низкая плотность?
2. Какое из перечисленных ниже бинарных соединений бора термодинамически неустойчиво: борид магния, оксид бора, нитрид бора или диборан? Напишите уравнение реакции горения этого вещества и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов.
3. Какой объем (мл) 20%-го раствора гидроксида натрия плотностью 1,22 г/мл надо взять для нейтрализации 12,4 г ортоборной кислоты, чтобы получить тетраборат натрия?
4. Какой объем (л; н.у.) водорода можно получить при растворении 10,8 г алюминия в растворе гидроксида натрия, взятом в избытке?
5. Определите координационное число алюминия в комплексном соединении, образующемся при взаимодействии гидрида лития и гидрида алюминия. Как называется это соединение?

**Вариант 21**

1. Напишите электронную формулу электронного остова атома бора.
2. Вычислите pH 4%-го раствора нитрата алюминия плотностью 1,03 г/мл.
3. Вычислите массовую долю (%) оксида алюминия в альбите.
4. Напишите уравнение реакции получения гиббсита и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов.
5. Из скольких атомов состоит элементарная ячейка бора — икосаэдр?

**Вариант 22**

1. Напишите электронную формулу электронного остова атома алюминия.

2. Вычислите степень гидролиза бромида алюминия в 6%-м растворе плотностью 1,045 г/мл.

3. Вычислите массовую долю (%) оксида бора в керните.

4. Напишите уравнение реакции, происходящей при пропускании оксида углерода(IV) в раствор диакватетра-гидроксоалюмината(III) натрия и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов.

5. Какие типы гибридизации электронных орбиталей проявляют атомы бора в оксиде бора?

**Вариант 23**

1. Напишите электронную формулу электронного остова атома галлия. Совпадает ли она с электронной формулой благородного газа, завершающего третий период периодической системы Д. И. Менделеева?

2. Вычислите степень гидролиза хлорида алюминия в 1%-м растворе плотностью 1,006 г/мл.

3. Вычислите массовую долю (%) оксида алюминия в ортоклазе.

4. Напишите уравнение реакции получения аморфного гидроксида алюминия из хлорида алюминия и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов.

5. Какое место по твердости занимает кристаллический бор среди простых веществ?

**Вариант 24**

1. Напишите электронную формулу электронного остова атома индия. Совпадает ли она с электронной формулой благородного газа, завершающего четвертый период периодической системы Д. И. Менделеева?

2. Вычислите степень гидролиза хлорида алюминия в 2%-м растворе плотностью 1,017 г/мл.

3. Вычислите массовую долю (%) оксида алюминия в биотите.

4. Напишите уравнение реакции электролитической диссоциации алюмокалиевых квасцов и подсчитайте, какое количество вещества (моль) ионов образуется при этом из 1 моль этой соли.

5. Какую массу (г) ортоборной кислоты можно получить в результате гидролиза 1 моль хлорида бора?

**Вариант 25**

1. Напишите электронную формулу электронного остова атома таллия. Совпадает ли она с электронной формулой благородного газа, завершающего пятый период периодической системы Д. И. Менделеева?

2. Пользуясь значениями логарифмов констант устойчивости комплексных анионов алюминия, приведенными на с. 327 учебника, определите, какой комплекс более устойчив в водном растворе: тетрагидроксоалюминат(III)-ион или дисульфатоалюминат(III)-ион.

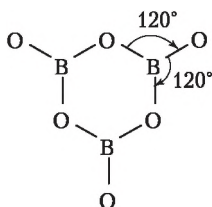
3. Вычислите массовую долю (%) оксида алюминия в мусковите.

4. Напишите уравнение реакции получения алюмината натрия с использованием карбоната натрия и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов.

5. Напишите уравнение реакции получения элементарного бора из оксида бора путем восстановления его магнием и рассчитайте молярную массу эквивалента окислителя в этой реакции.

**Вариант 26**

1. В кристаллической структуре метабората натрия  $\text{Na}_3\text{B}_3\text{O}_6$  присутствуют циклические анионы  $\text{B}_3\text{O}_6^{3-}$ , которые имеют следующее строение:



Определите тип гибридизации электронных орбиталей атомов бора в метаборате натрия.

2. Вычислите pH 0,07 М раствора хлорида алюминия.

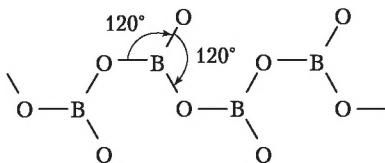
3. Вычислите массовую долю (%) бора в пересчете на оксид бора в буре.

4. Напишите уравнение реакции получения алюмината калия с использованием гидроксида калия и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов.

5. Напишите уравнение реакции горения диборана и рассчитайте молярную массу эквивалента восстановителя в этой реакции.

## Вариант 27

1. В кристаллической структуре метабората кальция присутствуют бесконечные цепи  $(\text{BO}_2)_n^-$ , имеющие следующее строение:



Каков тип гибридизации электронных орбиталей атомов бора в метаборате кальция?

2. Вычислите pH 0,1 М раствора бромиды алюминия.

3. Вычислите массовую долю (%) тетрабората натрия в буре.

4. Напишите уравнение реакции гидролиза алюмината натрия и определите реакцию среды (кислая, нейтральная или щелочная) полученного раствора.

5. В промышленности аморфный бор получают восстановлением оксида бора металлическим магнием. Вычислите, сколько килограммов бора можно получить из 138 кг оксида бора.

## Вариант 28

1. Напишите электронную формулу атома галлия.

2. Вычислите pH 4%-го раствора хлорида алюминия плотностью 1,34 г/мл.

3. Среднее содержание бора в черноземах составляет 54 мг в 1 кг сухой почвы. Вычислите массовую долю (%) бора в черноземах в пересчете на оксид бора.

4. Напишите уравнение реакции получения тетрахлоралюмината(III) натрия и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов.

5. В промышленности ортоборную кислоту получают действием серной кислоты на природные бораты. Например, при взаимодействии тетрабората с серной кислотой происходит реакция



Вычислите массу ортоборной кислоты, которую можно получить из 40 кг буры, если выход составляет 80%.

**Вариант 29**

1. Какую геометрическую форму имеет молекула ортоборной кислоты? Каков тип гибридизации орбиталей атома бора в этой молекуле?

2. Вычислите pH 0,04 М раствора хлорида алюминия.

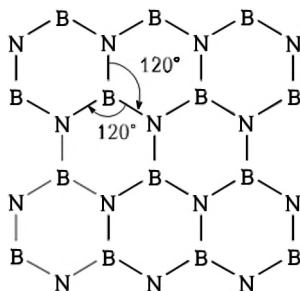
3. Вычислите массовую долю (%) оксида алюминия в гибbsite.

4. Напишите уравнение реакции гидролиза карбида алюминия и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов.

5. Согласно нормативам Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) содержание бора в питьевой воде не должно превышать 0,5 мг/л. Вычислите, какой молярной концентрации (ммоль/л) ортоборной кислоты соответствует такое содержание бора.

**Вариант 30**

1. Слоистая гексагональная структура нитрида бора, который используют в качестве смазки, имеет следующее строение:



Определите тип гибридизации электронных орбиталей атомов бора в этой кристаллической модификации нитрида бора.

2. В 481,25 мл воды растворили 18,75 г кристаллогидрата  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ . Вычислите pH полученного раствора, его плотность равна 1,014 г/мл.

3. Вычислите массовую долю (%) алюминия в пересчете на оксид алюминия в байерите.

4. Напишите уравнение реакции гидролиза сульфида алюминия и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов.

5. Некоторые виды растений, например зерновые и хлопчатник, очень чувствительны к повышенному содержанию бора в почве. Негативное влияние на них может оказывать даже такое низкое содержание бора, как 1 мг/л. Вычислите, какой молярной концентрации (ммоль/л) ортоборной кислоты соответствует такое содержание бора в почвенном растворе.

## Глава 12

# Химия углерода и кремния

---

В результате успешного освоения материала этой главы студент должен:

- **знать:** химические свойства важнейших неорганических соединений углерода и кремния;
- **уметь:** находить массовую долю оксида кремния в соединениях;
- **владеть:** представлениями о структурах важнейших силикатов и алюмосиликатов.

**Изучите:** гл. 18 учебника.

**Повторите:** параграф 2.2 гл. 2, параграфы 8.1 и 8.7 гл. 8, темы «Молекулярные кристаллы» и «Каркасные кристаллы» параграфа 11.4 гл. 11, тему «Жесткость воды» параграфа 16.3 гл. 16 учебника.

---

### 12.1. Вопросы для подготовки к коллоквиуму

1. Каково электронное строение атомов углерода и кремния?

2. Каковы типы гибридизации электронных орбиталей атома углерода в его аллотропных модификациях: карбине, графите, фуллеренах, алмазе, лонсдейлите?

3. Каковы общие химические свойства всех аллотропных модификаций углерода?

4. Какая аллотропная модификация углерода самая распространенная? Каковы ее химические свойства?

5. На какие группы можно разделить все бинарные соединения углерода? Что такое карбиды?

6. Каков тип гибридизации электронных орбиталей атома углерода в метане? Каковы химические свойства этого простейшего углеводорода?

7. Какую геометрическую конфигурацию имеют молекулы галогенидов углерода? Какое применение находят эти соединения?

8. Какова кратность связи между атомами углерода и кислорода в монооксиде углерода? При помощи каких реакций можно получить это вещество: а) из углерода; б) из метана? Каковы химические свойства монооксида углерода?



9. Какова геометрическая конфигурация молекулы диоксида углерода? Полярна ли эта молекула? При помощи каких реакций получают это вещество: а) в лаборатории; б) в промышленности?

10. Каковы химические свойства угольной кислоты? В чем заключается различие между истинной и кажущейся константами диссоциации этого слабого электролита?

11. Какие соли образует угольная кислота? Как ведут себя эти соли при нагревании? Подвергаются ли эти соли гидролизу? Какие значения имеет рН растворов солей угольной кислоты и сильных оснований? Каковы тип гибридизации электронных орбиталей атома углерода в карбонат-ионе и геометрическая конфигурация этого аниона?

12. В виде каких химических соединений углерод присутствует: а) в земной коре; б) в гидросфере; в) в атмосфере? Что такое каустобиолиты и керогены? Каковы источники поступления диоксида углерода в атмосферу?

13. Каков тип гибридизации электронных орбиталей атома кремния в элементном состоянии? Каковы структура, физические свойства и химическая активность элементного кремния?

14. На какие группы можно разделить бинарные соединения кремния?

15. Каков тип гибридизации электронных орбиталей атома кремния в гидридах этого элемента? Каковы физические и химические свойства гидридов кремния?

16. Каков тип гибридизации электронных орбиталей атома кремния в галогенидах этого элемента? Каковы физические и химические свойства галогенидов кремния? Как получают гексафторокремниевую кислоту? Какое применение находят соли этой кислоты — гексафторосиликаты?

17. Из каких структурных единиц состоят все кристаллические модификации диоксида кремния? Как называется наиболее устойчивая и самая распространенная кристаллическая модификация диоксида кремния? Каковы ее физические и химические свойства?

18. Каков тип гибридизации электронных орбиталей атома кремния в молекуле ортокремниевой кислоты? Какова геометрическая конфигурация этой молекулы? Каковы химические свойства этой кислоты? Как образуются поликремниевые кислоты и силикагели?

19. Какие вещества называют силикатами? Из каких структурных единиц состоят все кристаллические

силикаты? Что такое кремнекислородный мотив кристаллического силиката? Какие минералы называют пироксенами и амфиболами?

20. Какие вещества называют алюмосиликатами? На какие структурные единицы замещена в их слоистых полианионах часть кремнекислородных тетраэдров?

21. Какие каркасные алюмосиликаты называют цеолитами? Почему их называют «молекулярными ситами»?

## 12.2. Примеры решения задач

### Пример 12.1.

**Задача.** При парциальном давлении диоксида углерода, равном 101,3 кПа, и температуре 298,15 К в 100 мл воды растворяется 75,9 мл диоксида углерода (объем газа приведен к нормальным условиям). Вычислите pH такого раствора, используя кажущуюся константу диссоциации угольной кислоты по первой ступени.

*Решение.*

$$V(\text{H}_2\text{O}) = 100 \text{ мл}$$

$$V(\text{CO}_2) = 75,9 \text{ мл}$$

$$\text{pH} = ?$$

Не весь растворившийся в воде диоксид углерода превращается в угольную кислоту. Рассчитать pH раствора, для которого известно общее содержание растворенного  $\text{CO}_2$ , но неизвестна концентрация угольной кислоты, позволяет кажущаяся константа диссоциации:

$$K_{\text{каж}} = \frac{[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3] + [\text{CO}_2]},$$

в знаменателе которой присутствует сумма равновесных концентраций угольной кислоты и растворенного в воде, но не превратившегося в угольную кислоту углекислого газа. Эта сумма равна молярной концентрации всего растворенного углекислого газа: как превратившегося в угольную кислоту, так и оставшегося в виде молекул  $\text{CO}_2$ .

Для расчета количества вещества  $\text{CO}_2$ , растворенного в воде, воспользуемся следствием из закона Авогадро: при н.у. 1 моль любого газа занимает объем 22,4 л. Разделив объем газа на его молярный объем, находим количество вещества этого газа:

$$n(\text{CO}_2) = \frac{75,9}{22\,400} = 3,4 \cdot 10^{-3} \text{ моль.}$$

Пренебрегая небольшим отличием объема раствора от объема воды, в которой растворился диоксид углерода, рассчитываем молярную концентрацию  $\text{CO}_2$ :

$$c(\text{CO}_2) = \frac{3,4 \cdot 10^{-3}}{100} 1000 = 3,4 \cdot 10^{-2} \text{ моль/л.}$$

Концентрации катионов водорода и гидрокарбонат-ионов, образующихся при диссоциации угольной кислоты по первой ступени, равны между собой:



В результате диссоциации угольной кислоты по второй ступени концентрация катионов водорода возрастает, а концентрация гидрокарбонат-ионов уменьшается:



но эти изменения очень невелики, так как константа диссоциации угольной кислоты по второй ступени очень мала ( $K_2 = 4,68 \cdot 10^{-11}$ ), и их можно не учитывать при расчете концентрации катионов водорода. Заменяв в уравнении для расчета кажущейся константы равновесия концентрацию гидрокарбонат-ионов на равную ей концентрацию катионов водорода, получаем

$$K_{\text{каж}} = \frac{[\text{H}^+]^2}{c(\text{CO}_2)}.$$

Отсюда

$$[\text{H}^+] = \sqrt{K_{\text{каж}} \cdot c(\text{CO}_2)}.$$

Подставляя числовые значения константы диссоциации и концентрации растворенного диоксида углерода, получаем

$$[\text{H}^+] = \sqrt{4,27 \cdot 10^{-7} \cdot 3,4 \cdot 10^{-2}} = 1,21 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л.}$$

Вычисляем pH:

$$\text{pH} = -\lg (1,21 \cdot 10^{-4}) = 3,92.$$

Ответ. 3,92.

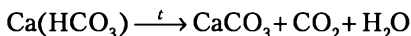
### Пример 12.2.

**Задача.** Вычислите объем диоксида углерода (н.у.), образующегося при кипячении 1 м<sup>3</sup> воды, если ее карбонатная жесткость составляет 10 ммоль/л и обусловлена только гидрокарбонатом кальция.

**Решение.**

$$\begin{array}{l} \text{Ж} = 10 \text{ ммоль/л} \\ V(\text{H}_2\text{O}) = 1 \text{ м}^3 \\ V(\text{CO}_2) = ? \end{array}$$

В соответствии с уравнением реакции при кипячении воды из 1 моль гидрокарбоната кальция образуется 1 моль диоксида углерода:



Чтобы найти количество вещества  $\text{CO}_2$  в молях, нужно перевести объем воды из кубических метров

в литры ( $1 \text{ м}^3 = 1000 \text{ л}$ ), а для перевода ммольей в моли — воспользоваться коэффициентом  $10^{-3}$  ( $1 \text{ ммоль} = 10^{-3} \text{ моль}$ ):

$$n(\text{CO}_2) = \text{Ж} \cdot V(\text{H}_2\text{O}) = 10 \cdot 10^{-3} \cdot 1000 = 10 \text{ моль}.$$

Таким образом, при кипячении  $1 \text{ м}^3$  воды образуется 10 моль диоксида углерода. При н.у. объем 1 моль газа составляет 22,4 л. Следовательно, объем 10 моль  $\text{CO}_2$  равен 224 л. Пренебрегая небольшой растворимостью углекислого газа в кипящей воде, получаем, что при кипячении  $1 \text{ м}^3$  воды выделяется 224 л диоксида углерода (объем газа приведен к н.у.).

*Ответ.* 224 л.

### Пример 12.3.

**Задача.** Рассчитайте массу (кг) карбоната натрия, необходимую для устранения жесткости  $2 \text{ м}^3$  воды, содержащей 6 ммоль/л катионов кальция и 0,5 ммоль/л катионов магния.

*Решение.*

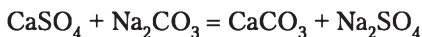
$$\begin{aligned} c(\text{Ca}^{2+}) &= 6 \text{ ммоль/л} \\ c(\text{Mg}^{2+}) &= 0,5 \text{ ммоль/л} \\ V(\text{H}_2\text{O}) &= 2 \text{ м}^3 \end{aligned}$$

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = ?$$

Суммарная концентрация катионов кальция и магния в воде составляет 6,5 ммоль/л. Находим количество вещества этих катионов, содержащееся в  $2 \text{ м}^3$  воды (при этом учитываем, что  $1 \text{ м}^3 = 1000 \text{ л}$ ):

$$n(\text{катионов}) = 6,5 \cdot 2000 = 13\,000 \text{ ммоль} = 13 \text{ моль}.$$

Из уравнений реакций между солями кальция и магния, обуславливающими жесткость воды, и карбонатом натрия очевидно, что для осаждения 1 моль катионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  расходуется 1 моль  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ :



Следовательно, для осаждения 13 моль катионов кальция и магния потребуется 13 моль карбоната натрия. Вычисляем массу 13 моль  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ :

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = M(\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 106 \cdot 13 = 1378 \text{ г} = 1,378 \text{ кг}.$$

*Ответ.* 1,378 кг.

### Пример 12.4.

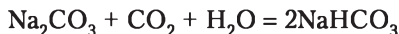
**Задача.** Через 1 л 0,2 М раствора карбоната натрия пропускали диоксид углерода до тех пор, пока количество вещества этой соли не уменьшилось в 2 раза. Вычислите pH полученного раствора.

*Решение.*

$$\begin{aligned} n_1(\text{Na}_2\text{CO}_3) &= 0,2 \text{ моль} \\ V(\text{раствора}) &= 1 \text{ л} \\ n_2(\text{Na}_2\text{CO}_3) &= 0,5 n_1(\text{Na}_2\text{CO}_3) \end{aligned}$$

$$\text{pH} = ?$$

При пропускании диоксида углерода через раствор карбоната натрия образуется кислая соль угольной кислоты — гидрокарбонат натрия:



Поскольку в реакцию вступил не весь исходный карбонат натрия, то в полученном растворе присутствуют две соли:  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  и  $\text{NaHCO}_3$ . Такой раствор, содержащий две соли слабой кислоты, обладает буферными свойствами. Его pH можно вычислить при помощи уравнения для расчета pH буферных растворов, состоящих из слабой кислоты и ее соли:

$$\text{pH} = -\lg K_{\text{кисл}} - \lg \frac{c_{\text{кисл}}}{c_{\text{соли}}},$$

внеся в него некоторые изменения. В качестве слабой кислоты в данном случае можно рассматривать гидрокарбонат-ион и подставлять его константу диссоциации, т.е. константу диссоциации угольной кислоты по второй ступени  $K(\text{II})$  в расчетное уравнение. А концентрацию гидрокарбоната натрия можно подставить в это уравнение вместо  $c_{\text{кисл}}$ . Концентрация оставшейся в растворе средней соли — карбоната натрия — это и есть  $c_{\text{соли}}$ .

Поскольку в 1 л исходного раствора содержалось 0,2 моль этой соли, а в результате реакции количество вещества уменьшилось в 2 раза, то концентрация  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  в полученном буферном растворе  $c_{\text{соли}} = 0,1$  моль/л. Количество вещества карбоната натрия, вступившего в реакцию и превратившегося в гидрокарбонат, также равно 0,1 моль/л, поэтому концентрация кислой соли, которая в полученном буферном растворе играет роль кислоты, равна 0,1 моль/л.

Подставляя числовые значения в расчетное уравнение, получаем

$$\text{pH} = -\lg(4,69 \cdot 10^{-11}) - \lg \frac{0,1}{0,1} = 10,33.$$

Ответ. 10,33.

### Пример 12.5.

**Задача.** Состав силиката натрия, раствор которого выпускается промышленностью под названием «жидкое стекло», описывают формулой  $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ . Вычислите массу (г) ортокремниевой кислоты, которую можно получить из раствора, содержащего 20,9 г  $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ , если  $n = 2,45$ .

**Решение.**

$$\begin{aligned} m(\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2) &= \\ &= 20,9 \text{ г} \\ n &= 2,45 \end{aligned}$$

$$m(\text{H}_4\text{SiO}_4) = ?$$

Вычисляем молярную массу  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,45\text{SiO}_2$ . Она равна сумме молярной массы оксида натрия и 2,45 молярных масс диоксида кремния:

$$\begin{aligned} M(\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2) &= M(\text{Na}_2\text{O}) + 2,45M(\text{SiO}_2) = \\ &= (2 \cdot 23 + 16) + 2,45(28 + 2 \cdot 16) = \\ &= 62 + 147 = 209 \text{ г/моль}. \end{aligned}$$

Количество вещества  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,45\text{SiO}_2$  равно

$$n(\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2) = \frac{m(\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2)}{M(\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2)} = \frac{20,9}{209} = 0,1 \text{ моль.}$$

Из 1 моль  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,45\text{SiO}_2$ , содержащего 2,45 моль диоксида кремния, можно получить 2,45 моль ортокремниевой кислоты. Следовательно

$$n(\text{H}_4\text{SiO}_4) = 2,45n(\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2) = 2,45 \cdot 0,1 = 0,245 \text{ моль.}$$

Вычисляем массу ортокремниевой кислоты:

$$m(\text{H}_4\text{SiO}_4) = n(\text{H}_4\text{SiO}_4) \cdot M(\text{H}_4\text{SiO}_4) = 0,245 \cdot 96 = 23,52 \text{ г.}$$

Ответ. 23,52 г.

### 12.3. Индивидуальные задания

#### Вариант 1

1. Напишите химический символ элемента IVA-подгруппы, который в живом веществе является макроэлементом, жизненно необходимым для животных и растений.

2. Вычислите объем (л; н.у.) метана, который можно получить при взаимодействии 43,2 г карбида (метанида) алюминия с водой.

3. Вычислите массовую долю (%) кремния в кварце.

4. Напишите формулу и название простейшего из островных силикатов с замкнутым циклическим анионом.

5. Согласно нормативам Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) в 1 л воды не должно содержаться больше 0,01 мг свинца. Вычислите молярную концентрацию катионов  $\text{Pb}^{2+}$  в воде с максимально допустимым содержанием этого токсичного элемента.

#### Вариант 2

1. Чему равен электрический дипольный момент молекулы диоксида углерода?

2. Вычислите объем (л; н.у.) ацетилен, который можно получить при взаимодействии 7 г карбида (ацетиленида) натрия с водой.

3. Вычислите массовую долю (%) кремния в пересчете на диоксид кремния в мусковите.

4. Напишите формулу и название островного силиката, замкнутый циклический анион которого содержит шесть кремнекислородных тетраэдров, а катионами являются  $\text{Be}^{2+}$  и  $\text{Al}^{3+}$ .

5. Напишите в сокращенной ионной форме уравнение реакции гидролиза гидрокарбоната калия и вычислите константу гидролиза.

### Вариант 3

1. Определите тип гибридизации электронных орбиталей атома углерода в молекуле диоксида углерода и геометрическую конфигурацию этой молекулы.

2. Вычислите массу (г) тетрахлорида углерода, который можно получить при пропускании газообразного хлора, взятого в избытке, через 120,6 мл жидкого сероуглерода плотностью 1,26 г/мл.

3. Вычислите массовую долю (%) кремния в пересчете на диоксид кремния в тортейците.

4. Какая аллотропная форма углерода образует мельчайшие кристаллы, из которых состоит кокс?

5. Напишите в сокращенной ионной форме уравнение гидролиза карбоната натрия и вычислите степень гидролиза в 0,1 М растворе.

### Вариант 4

1. Определите тип гибридизации электронных орбиталей атома углерода в молекуле дисульфида углерода и геометрическую конфигурацию этой молекулы.

2. Составьте уравнение реакции горения дисилана и вычислите молярную массу эквивалента восстановителя.

3. Рассчитайте массу известняка, содержащего 15% примесей, необходимую для получения 1 т сухого льда.

4. Вычислите pH дождевой воды при условии, что суммарная концентрация обеих форм растворенного диоксида углерода  $[\text{CO}_2]$  и  $[\text{H}_2\text{CO}_3]$  равна  $1,15 \cdot 10^{-5}$  моль/л, а других веществ, оказывающих влияние на pH воды, нет. Для расчета используйте кажущуюся константу диссоциации угольной кислоты.

5. Вычислите pH 0,15 М раствора карбоната калия (поташа).

### Вариант 5

1. Определите число неспаренных электронов в основном и возбужденном состояниях атома углерода.

2. Составьте уравнение реакции взаимодействия дициана с гидроксидом калия и напишите названия образующихся солей.

3. Вычислите массовую долю (%) углерода в доломите.

4. Часть атомов кремния в кремнекислородных тетраэдрах монтмориллонита замещена атомами другого элемента. Напишите химический символ этого элемента. Какой заряд (положительный или отрицательный) приобретают в результате такого замещения плоские пакеты монтмориллонита?

5. Напишите в ионной форме уравнение гидролиза гидрокарбоната аммония и вычислите константу гидролиза этой соли.

### Вариант 6

1. Определите число неспаренных электронов в основном и возбужденном состояниях атома кремния.

2. Составьте уравнение реакции горения дициана и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов.

3. Рассчитайте, какой объем (л; н.у.) диоксида углерода образуется при кипячении 1 м<sup>3</sup> воды, если ее карбонатная жесткость составляет 12 ммоль/л и обусловлена только гидрокарбонатом кальция.

4. Вычислите концентрации катионов водорода и гидрокарбонат-ионов в дождевой воде при условии, что суммарная концентрация обеих форм растворенного диоксида углерода ( $[\text{CO}_2]$  и  $[\text{H}_2\text{CO}_3]$ ) равна  $1,15 \cdot 10^{-5}$  моль/л, а других газов, оказывающих при растворении влияние на pH воды, в атмосферном воздухе нет. Для расчета используйте кажущуюся константу диссоциации угольной кислоты.

5. Напишите в молекулярной форме уравнение гидролиза карбоната натрия (сода) и вычислите pH 0,1 М раствора.

### Вариант 7

1. Определите тип гибридизации электронных орбиталей атомов углерода в молекуле дициана, принимая во внимание, что эта молекула имеет линейную конфигурацию.

2. Напишите уравнение реакции получения кремния путем восстановления диоксида кремния углеродом и вычислите молярную массу эквивалента восстановителя.

3. Вычислите массовую долю (%) кремния в пересчете на диоксид кремния в берилле.

4. Вычислите молярную концентрацию (моль/л) молекул угольной кислоты в дождевой воде, pH которой равен 5,6, при условии, что других веществ, оказывающих



влияние на pH, в воде нет. Для расчета используйте истинную константу диссоциации угольной кислоты.

5. Какова геометрическая конфигурация иона, по которому протекает гидролиз карбоната натрия?

### Вариант 8

1. Определите валентность и степень окисления углерода в молекуле дисульфида углерода.

2. Составьте уравнение реакции гидролиза сульфида кремния и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов.

3. Очень чистый диоксид углерода можно получить в лаборатории при нагревании гидрокарбоната натрия. Какой объем (л) этого газа, измеренного при н.у., можно получить из 21 г гидрокарбоната натрия?

4. Состав силиката натрия, раствор которого выпускается промышленностью под названием «жидкое стекло», описывают формулой  $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ . Вычислите массовую долю (%) кремния в пересчете на диоксид кремния в  $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ , если  $n = 2,45$ .

5. Вычислите pH 2%-го раствора карбоната калия плотностью 1,016 г/мл.

### Вариант 9

1. Укажите тип гибридизации электронных орбиталей атома углерода в карбонат-ионе и геометрическую конфигурацию этого иона.

2. Составьте уравнение реакции взаимодействия кварца с фтороводородной кислотой и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов.

3. Какой объем (л) монооксида углерода можно получить при нагревании 92 г муравьиной кислоты с концентрированной серной кислотой, которая действует как водоотнимающее средство?

4. Рассчитайте массу (кг) соды, необходимую для устранения постоянной жесткости 5 м<sup>3</sup> воды, содержащей 2 ммоль/л катионов кальция и 6 ммоль/л катионов магния.

5. Вычислите pH 2,1%-го раствора карбоната натрия плотностью 1,02 г/мл.

### Вариант 10

1. Укажите тип гибридизации электронных орбиталей атомов углерода и число  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекуле  $\text{CO}_2$ .

2. Напишите уравнение реакции получения тетрахлорида углерода в промышленности и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов.

3. Жидкое стекло получают растворением сырья, содержащего кремнезем, в растворах сильных оснований при температуре  $100^{\circ}\text{C}$  и повышенном давлении. Вычислите массу (кг) жидкого стекла, содержащего 80% силиката натрия состава  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,45\text{SiO}_2$ , которую можно получить из 75 кг диатомита, содержащего 80% диоксида кремния. (Диатомит — горная порода, образованная из панцирей диатомовых водорослей.)

4. Сколько общих атомов кислорода у двух соседних кремнекислородных тетраэдров в природных силикатах?

5. Напишите в молекулярной форме уравнение гидролиза цианида аммония и вычислите pH 0,1 М раствора этой соли.

### Вариант 11

1. Напишите химический символ элемента IVA-подгруппы, массовая доля которого в почвах составляет в среднем 33%.

2. Напишите уравнение реакции получения фосгена и вычислите молярную массу эквивалента восстановителя.

3. Вычислите массовую долю (%) кремния в пересчете на диоксид кремния в каолините.

4. Как называется класс минералов, в которых кремнекислородные тетраэдры соединяются в цепные полианионы?

5. Напишите в молекулярной форме уравнение гидролиза гидрокарбоната аммония и вычислите pH 0,1 М раствора этой соли.

### Вариант 12

1. Укажите тип гибридизации электронных орбиталей атома углерода в алмазе.

2. Напишите уравнение реакции получения оксида углерода(II) из муравьиной кислоты и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов.

3. Напишите формулу и название простейшего из островных силикатов.

4. Одной из важнейших буферных систем организма человека является гидрокарбонатная буферная система, состоящая из слабой угольной кислоты и ее соли гидрокарбоната натрия. Вычислите, чему равно отношение концентрации кислоты к концентрации соли в этом буферном растворе, если в физиологических условиях организма pH

плазмы крови равен 7,40, а кажущаяся константа равновесия диссоциации угольной кислоты равна  $4,27 \cdot 10^{-7}$ .

5. Напишите в полной ионной форме уравнение гидролиза цианида аммония и вычислите концентрацию катионов водорода в 0,2 М растворе этой соли.

### Вариант 13

1. Напишите химическую формулу комплексного соединения, которое называется тетракарбонилникель, и формулу молекулы, которая играет роль лиганда в этом соединении.

2. Для получения очень чистого кремния используют реакцию разложения моносилана, протекающую при температуре около  $1000^{\circ}\text{C}$ . Вычислите массу (г) кремния, которую можно получить при разложении 1 моль моносилана.

3. При  $20^{\circ}\text{C}$  в 100 г воды растворили 3,92 мл жидкого циановодорода плотностью 0,688 г/мл. Вычислите степень диссоциации образующейся при этом циановодородной (синильной) кислоты. Плотность раствора принять равной 1 г/мл.

4. Во сколько раз массовая доля кремния в почвах больше массовой доли углерода?

5. Напишите в сокращенной ионной форме уравнение реакции гидролиза карбоната натрия по первой ступени и вычислите соответствующую константу гидролиза.

### Вариант 14

1. Определите тип гибридизации электронных орбиталей атома углерода в цианамид-ионе и геометрическую конфигурацию этого иона.

2. Какой объем ацетилен (л; н.у.) можно получить при взаимодействии с водой 4,8 г карбида (ацетиленида) магния?

3. Вычислите концентрацию угольной кислоты, если степень ее диссоциации по первой ступени составляет 0,1%.

4. Рассчитайте массовую долю (%) кремния в пересчете на диоксид кремния в ортоклазе.

5. Напишите в полной ионной форме уравнение реакции гидролиза гидрокарбоната аммония и вычислите степень гидролиза этой соли в 0,1 М растворе.

### Вариант 15

1. Определите степень ионности связи в тетрафториде кремния.

2. Составьте уравнение реакции получения пентакарбонилжелеза и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов.

3. Во сколько раз концентрация гидрокарбонатов в речной воде превышает концентрацию  $\text{CO}_2$ ?

4. Рассчитайте массовую долю (%) кремния в пересчете на диоксид кремния в каолините.

5. Вычислите pH 1%-го раствора карбоната калия плотностью 1,007 г/мл.

### Вариант 16

1. Определите тип гибридизации электронных орбиталей атома углерода в карбиде (ацетилениде) лития.

2. Вычислите массу (г) тиокарбоната калия, которую можно получить при взаимодействии насыщенного раствора сульфида калия, содержащего 55 г этой соли, с дисульфидом углерода, взятым в избытке.

3. Из скольких слоев состоит пакет монтмориллонита? Напишите химическую формулу структурных единиц, из которых состоят наружные слои пакета этого слоистого минерала.

4. Рассчитайте массовую долю (%) кремния в кремнеземе.

5. Вычислите степень гидролиза карбоната натрия (соды) в 5%-м растворе плотностью 1,05 г/мл.

### Вариант 17

1. Укажите геометрическую форму и тип гибридизации электронных орбиталей атома углерода в тиокарбонат-ионе.

2. При охлаждении горячего насыщенного водного раствора карбоната калия из него выделяется кристаллогидрат состава  $\text{K}_2\text{CO}_3 \cdot 1,5\text{H}_2\text{O}$ . Какую массу (г) этого кристаллогидрата можно получить из 100 г насыщенного раствора, в котором массовая доля карбоната калия составляет 52,8%?

3. Рассчитайте массу (кг) кварца, необходимую для получения 4 кг карборунда.

4. Напишите название аллотропной формы углерода, в которую превращается алмаз при высокой температуре в инертной атмосфере.

5. Напишите в полной ионной форме уравнение гидролиза цианида аммония и вычислите константу гидролиза.

### Вариант 18

1. Укажите степень окисления и валентность углерода в тетрафториде углерода.

2. Составьте уравнение реакции получения циановодорода из метана и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов.

3. Вычислите массовую долю (%) кремния в пересчете на диоксид кремния в монтмориллоните.

4. Напишите химические формулы соединений, в виде которых углерод присутствует в гидросфере.

5. Напишите в полной ионной форме уравнение гидролиза цианида аммония и вычислите концентрацию гидроксид-ионов в 1%-м растворе этой соли. Плотность раствора принять равной 1 г/мл.

### Вариант 19

1. Укажите тип гибридизации электронных орбиталей атома кремния в молекуле трисилана.

2. Составьте уравнение реакции взаимодействия монооксида углерода с аммиаком, протекающей в присутствии платины в качестве катализатора, и напишите химическую формулу продукта реакции, являющегося азотным удобрением.

3. Рассчитайте массу (кг) 40%-го раствора фтороводородной (плавиковой) кислоты, необходимую для растворения 6 кг кварца.

4. Под каким названием объединяют почвообразующие минералы каркасные алюмосиликаты, масса которых составляет 50% массы земной коры?

5. Вычислите молярную концентрацию раствора карбоната натрия (сода), рН которого равен 8,34.

### Вариант 20

1. Определите степень окисления и тип гибридизации электронных орбиталей атома углерода в угольной кислоте.

2. Составьте уравнение реакции и назовите образующееся комплексное соединение:



3. Во сколько раз масса углерода, содержащегося в гидросфере, больше массы углерода в атмосфере?

4. Укажите число атомов кислорода, окружающих каждый атом кремния в каолините.

5. Напишите в сокращенной ионной форме уравнение реакции гидролиза гидрокарбоната аммония и вычислите рН 0,2 М раствора этой соли.

**Вариант 21**

1. Напишите химический символ элемента IVA-подгруппы, который очень токсичен для теплокровных животных и человека.

2. Составьте уравнение реакции гидролиза сульфида кремния и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов.

3. Приготовили два раствора. Для приготовления первого из них взяли 50 г кристаллогидрата  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ . Второй раствор содержит 23 г карбоната аммония. Вычислите массу (г) карбоната кальция, которую можно получить при сливании этих растворов.

4. Являются ли алюмосиликатами минералы типа каолинита?

5. Напишите химическую формулу той из натриевых солей угольной кислоты, которая подвергается гидролизу в большей степени.

**Вариант 22**

1. Напишите химическую формулу соединения кремния, которое используют для получения стекла.

2. Составьте уравнение реакции взаимодействия карбоната кальция с водным раствором диоксида углерода и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов.

3. Вычислите объем (л; н.у.) сгоревшего моносилана, если в результате реакции образовалось 3 г диоксида кремния.

4. Одной из важнейших буферных систем организма человека является гидрокарбонатная буферная система, состоящая из слабой угольной кислоты и ее соли — гидрокарбоната натрия. Для объяснения механизма действия этой буферной системы запишите уравнение обратимой реакции диссоциации угольной кислоты по первой ступени. Определите, в каком направлении сместится равновесие, описываемое этим уравнением, при поступлении в кровь избыточных катионов водорода.

5. Напишите химическую формулу иона, по которому протекает гидролиз метасиликата натрия

**Вариант 23**

1. Напишите химическую формулу комплексного соединения, которое называется пентакарбонилжелезо, и формулу молекулы, которая играет роль лиганда в этом соединении.

2. Составьте уравнение реакции окисления углерода концентрированной азотной кислотой и вычислите молярную массу эквивалента восстановителя.

3. Рассчитайте массу (кг) соды, необходимую для устранения временной жесткости  $1,5 \text{ м}^3$  воды, содержащей  $2 \text{ ммоль/л}$  катионов кальция и  $0,2 \text{ ммоль/л}$  катионов магния.

4. Напишите формулу и название антидетонационной добавки в горючее автомобилей, которая является причиной загрязнения окружающей среды свинцом.

5. Вычислите pH карбонатного буферного раствора, в 1 л которого содержится 53 г карбоната и 42 г гидрокарбоната натрия.

### Вариант 24

1. Укажите число  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекуле дициана.

2. Составьте уравнение реакции окисления углерода концентрированной серной кислотой и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов.

3. Рассчитайте массу (кг) кокса, необходимую для получения 4 кг борбунда.

4. Напишите химическую формулу соединения кремния, которое является наиболее распространенным почвообразующим соединением.

5. В 896 мл воды растворили 84 г гидрокарбоната и 20 г гидроксида натрия. Вычислите pH полученного карбонатного буферного раствора, если его плотность равна  $1,1 \text{ г/мл}$ .

### Вариант 25

1. Укажите число  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в цианид-ионе.

2. Составьте уравнение реакции получения цианамиды кальция и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов.

3. Напишите формулу тетраэдрических структурных единиц, входящих в состав монтморрилонита.

4. В 100 мл крови человека содержится 220 мг гидрокарбонат-ионов. Вычислите массовую долю этих ионов в крови, если ее плотность равна  $1,05 \text{ г/мл}$ .

5. Вычислите молярную концентрацию раствора цианида калия, если pH этого раствора равен 10.

### Вариант 26

1. Укажите тип гибридизации орбиталей центрального атома и геометрическую конфигурацию гексафторосиликат-иона.

2. Составьте уравнение реакции горения циановодорода и вычислите молярную массу эквивалента восстановителя.

3. Укажите тип гибридизации электронных орбиталей атома углерода: а) в полиине; б) в поликумулене.

4. Напишите химические формулы и названия соединений углерода, присутствие которых в атмосфере Земли служит причиной парникового эффекта.

5. Вычислите pH карбонатного буферного раствора, в 200 мл которого содержится 2,12 г карбоната и 1,68 г гидрокарбоната натрия.

### Вариант 27

1. Определите степень ионности связи в тетрафториде углерода.

2. Составьте уравнение реакции горения дисилана и подсчитайте молярную массу эквивалента восстановителя.

3. Напишите формулу октаэдрических структурных единиц, входящих в состав монтмориллонита.

4. Вычислите массовую долю (%) углерода в малахите.

5. В 1 л раствора содержится 13,82 г карбоната калия. Какую массу (г) гидрокарбоната калия нужно растворить в этом растворе, чтобы его pH стал равным 10?

### Вариант 28

1. Напишите химическую формулу и название несолеобразующего оксида углерода. Укажите кратность связи между атомами углерода и кислорода в этом соединении.

2. Составьте уравнение реакции разложения тиюгольной кислоты и напишите название выделяющегося в результате этой реакции соединения углерода.

3. Карбонат калия очень хорошо растворим в воде. В 100 г воды при 20°C растворяется 111 г этой соли. Вычислите молярную концентрацию насыщенного раствора карбоната калия, если его плотность равна 1,567 г/мл.

4. Вычислите заряд замкнутого циклического силикатного аниона, в состав которого входят шесть атомов кремния.

5. Карбонатный буферный раствор, приготовленный из гидрокарбоната и карбоната натрия, имеет pH = 10,33. Чему равно отношение концентраций солей натрия в этом растворе?

### Вариант 29

1. Укажите степень окисления и тип гибридизации электронных орбиталей атома кремния в диоксиде кремния.



2. Составьте уравнение реакции взаимодействия тиокарбоната калия с серной кислотой и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов.

3. Рассчитайте объем (л; н.у.) газа, образующегося при взаимодействии с водой 7 г карбида (ацетиленида) натрия.

4. Напишите формулу и название островного силиката, анион которого состоит из двух кремнекислородных тетраэдров.

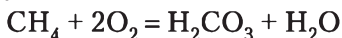
5. Вычислите pH карбонатного буферного раствора, концентрации гидрокарбоната и карбоната натрия в котором равны соответственно 0,214 и 0,100 моль/л.

### Вариант 30

1. Укажите тип гибридизации электронных орбиталей атома углерода в фуллеренах. Вычислите молярную массу фуллерена C<sub>60</sub>.

2. Напишите общую формулу гомологического ряда силанов.

3. Метаноокисляющие бактерии *Methylobomonas spp.* используют для получения энергии реакцию:



Вычислите молярную массу эквивалента восстановителя в этой реакции.

4. Сколько общих атомов кислорода у двух соседних кремнекислородных тетраэдров в поликремниевых кислотах?

5. Вычислите pH карбонатного буферного раствора, в 100 мл которого содержится 8,58 г карбоната и 2,52 г гидрокарбоната натрия.

## Глава 13

### Химия азота

---

В результате успешного освоения материала этой главы студент должен:

- **знать:** химические свойства важнейших соединений азота;
- **уметь:** вычислять рН растворов соединений азота и производить расчеты, необходимые для приготовления растворов соединений азота;
- **владеть:** представлениями о структуре важнейших соединений азота и их значении в природе и сельском хозяйстве.

**Изучите:** параграфы 19.1—19.3 гл. 19 учебника.

**Повторите:** параграф 2.2 гл. 2, параграф 6.2 гл. 6, параграф 8.5 гл. 8 учебника.

---

#### 13.1. Вопросы для подготовки к коллоквиуму

1. Чем отличаются описания строения молекулы азота при помощи методов валентных связей и молекулярных орбиталей?

2. Почему реакцию синтеза аммиака проводят при высоких температуре и давлении?

3. Какие способы активирования молекулы азота вам известны?

4. При помощи каких реакций можно получить нитрид лития, аммиак, цианамид кальция?

5. На какие группы можно разделить бинарные соединения азота? Какие типы химических связей существуют в этих веществах?

6. Каковы электронное строение и свойства молекулы аммиака?

7. Каковы химические свойства аммиака?

8. Почему водный раствор аммиака имеет свойства слабого основания? Каковы химические свойства солей аммония?

9. Какие реакции происходят при взаимодействии аммиака с щелочными и щелочно-земельными металлами, хлором?

10. Каковы строение молекул и химические свойства гидразина, гидроксиламина и карбамида?

11. Каковы строение молекул и химические свойства оксидов азота?

12. Каковы строение молекулы и химические свойства азотноватистой кислоты?

13. Каковы строение молекулы азотистой кислоты и нитрит-иона? Каковы химические свойства азотистой кислоты и нитритов?

14. Каковы строение молекулы азотной кислоты и нитрат-иона? Каковы химические свойства азотной кислоты и нитратов?

15. Что такое азотфиксация, аммонификация, нитрификация, денитрификация? Какие соединения азота участвуют в этих процессах?

### 13.2. Примеры решения задач

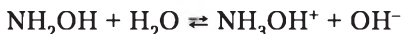
#### Пример 13.1.

*Вопрос.* Вычислите pH 0,1 М раствора гидроксиламина.

*Решение.*

$$\begin{array}{|l} c(\text{NH}_2\text{OH}) = 0,1 \text{ моль/л} \\ \hline \text{pH} = ? \end{array}$$

Раствор гидроксиламина в воде проявляет свойства слабого основания в результате протекания реакции



Степень диссоциации достаточно мала (существенно меньше 5%):

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_{\text{осн}}}{c_{\text{осн}}}} = \sqrt{\frac{9,3 \cdot 10^{-9}}{10^{-1}}} = 3,05 \cdot 10^{-4}, \text{ или примерно } 0,03\%,$$

поэтому концентрацию гидроксид-ионов в растворе вычисляем при помощи уравнения

$$\begin{aligned} [\text{OH}^-] &= \sqrt{K_{\text{осн}} \cdot c_{\text{осн}}} = \sqrt{9,3 \cdot 10^{-9} \cdot 10^{-1}} = \\ &= \sqrt{9,3 \cdot 10^{-10}} = 3,05 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л.} \end{aligned}$$

Гидроксильный показатель этого раствора равен

$$\text{pOH} = -\lg[\text{OH}^-] = -\lg(3,05 \cdot 10^{-5}) = 4,52.$$

Водородный показатель равен

$$\text{pH} = 14 - 4,52 = 9,48.$$

*Ответ.* 9,48.

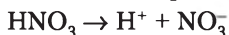
**Пример 13.2.**

**Вопрос.** Вычислите массу (г) азотной кислоты, которая содержится в 1 л раствора, рН которого равен 0,83. Коэффициент активности равен 0,748.

**Решение.**

$$\begin{array}{l} V = 1 \text{ л} \\ \text{pH} = 0,83 \\ f(\text{H}^+) = 0,748 \\ m(\text{HNO}_3) = ? \end{array}$$

Для расчета массы кислоты, содержащейся в растворе, нужно знать концентрацию этого раствора. Концентрация азотной кислоты равна концентрации катионов водорода, так как азотная кислота — сильный электролит и в водном растворе полностью диссоциирует на катионы водорода и нитрат-ионы:



Чтобы найти концентрацию катионов водорода, предварительно вычисляем активность этих ионов при помощи уравнения:

$$a_{\text{H}^+} = 10^{-\text{pH}}.$$

Подставляя в это уравнение числовое значение рН, находим при помощи табл. 4.1:

$$a_{\text{H}^+} = 10^{-0,83} = 0,148 \text{ моль/л.}$$

(Пренебречь отличием концентрации от активности и напрямую вычислить концентрацию катионов водорода по числовому значению рН в данном случае нельзя, так как коэффициент активности существенно отличается от единицы.)

Активность катионов водорода равна произведению коэффициента активности и концентрации этого иона:

$$a_{\text{H}^+} = f(\text{H}^+)c(\text{H}^+).$$

Решая это уравнение относительно концентрации катионов водорода, получаем

$$[\text{H}^+] = \frac{a_{\text{H}^+}}{f(\text{H}^+)}.$$

Подставляя в это уравнение числовые значения активности и коэффициента активности, находим

$$[\text{H}^+] = \frac{0,148}{0,748} = 0,198 \text{ моль/л.}$$

Из уравнения для расчета молярной концентрации раствора

$$c(\text{HNO}_3) = \frac{m(\text{HNO}_3)}{M(\text{HNO}_3) \cdot V} 1000$$

находим массу азотной кислоты:

$$m(\text{HNO}_3) = \frac{c(\text{HNO}_3)M(\text{HNO}_3)V}{1000} = \frac{0,198 \cdot 63 \cdot 1000}{1000} = 12,47 \text{ г.}$$

**Ответ.** 12,47 г.

Обратите внимание на то, что в примере 13.2 концентрация азотной кислоты достаточно велика (существенно больше 0,01 моль/л), поэтому нельзя было пренебречь отличием активности от концентрации и напрямую найти концентрацию катионов водорода по уравнению  $[H^+] = 10^{-pH}$ , минуя вычисление активности этих ионов.

### Пример 13.3.

**Вопрос.** Определите валентность и степень окисления атомов азота в катионе гидразиния ( $2+$ ).

**Решение.** Катион гидразиния ( $2+$ ) образуется из молекулы гидразина в результате присоединения к ней двух катионов водорода по донорно-акцепторному механизму. Молекула гидразина содержит два донорных атома азота, у каждого из которых имеется несвязывающая электронная пара, катионы водорода имеют вакантные орбитали и играют роль акцепторов:



В образующемся катионе гидразиния ( $2+$ ) каждый из атомов азота связан с другими атомами четырьмя связями. Следовательно, его валентность равна четырем.

Для расчета степени окисления атомов азота в катионе гидразиния ( $2+$ )  $N_2H_6^{2+}$  нужно вспомнить, что сумма степеней окисления всех атомов, входящих в состав иона, равна заряду этого иона. Обозначив неизвестную степень окисления азота за  $x$  и подставив степень окисления водорода, равную  $+1$ , составим уравнение:

$$\begin{aligned} 2x + 6 \cdot 1 &= +2; \\ 2x &= 2 - 6 = -4; \\ x &= -2. \end{aligned}$$

**Ответ.** 4;  $-2$ .

## 13.3. Индивидуальные задания

### Вариант 1

1. Напишите химическую формулу газа, имеющего наибольшую массовую долю в воздухе.

2. При 20°C в 1 л воды растворяется 693 л газообразного аммиака. Вычислите массовую долю (%) аммиака в образующемся насыщенном растворе.

3. Вычислите pH раствора, в 500 мл которого содержится 0,16 г гидразина.

4. Какую степень окисления проявляет азот в биомолекулах?

5. Какой объем (л; н.у.) кислорода выделится при термическом разложении 1 моль нитрата калия?

### Вариант 2

1. Напишите уравнение реакции взаимодействия азота с литием и вычислите молярную массу эквивалента окислителя в этой реакции.

2. Согласно нормативам Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) в 1 л питьевой воды не должно содержаться более 50 мг нитрат-ионов. Вычислите молярную концентрацию нитрат-ионов при их максимально допустимом содержании в воде.

3. Какой объем (мл) гидразина плотностью 1,012 г/мл нужно взять для приготовления 1 л 0,1 М раствора?

4. Какой объем (л; н.у.) газа выделится при разложении 13,8 г нитрата натрия?

5. Сколько химических связей Mg–N в одной молекуле хлорофилла?

### Вариант 3

1. Напишите уравнение реакции получения нитрида кальция из простых веществ и вычислите молярную массу эквивалента окислителя в этой реакции.

2. Напишите уравнение реакции получения монометил-аминa из аммиака и метанола и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов.

3. Вычислите pH раствора, в 100 мл которого содержится 2,48 г азотноватистой кислоты.

4. Закончите уравнение реакции и напишите название той из солей, образующихся в результате этой реакции, в которой азот проявляет высшую степень окисления:



5. Сколько водородных связей образует каждая молекула гидразина?

### Вариант 4

1. Напишите уравнение реакции образования монооксида азота, происходящей в атмосфере при грозовом разряде,

и вычислите молярную массу эквивалента восстановителя в этой реакции.

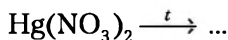
2. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение окислительно-восстановительной реакции и вычислите ее ЭДС:



3. Какой объем (мл) 20%-го раствора аммиака плотностью 0,923 г/мл нужно взять для приготовления 1 л 0,2 М раствора?

4. Напишите уравнение реакции взаимодействия диоксида азота с водой. Каковы степени окисления азота в продуктах реакции?

5. Закончите уравнение реакции и вычислите, какой объем газов (л; н.у.) выделится при разложении 1 моль этой соли:



### Вариант 5

1. Напишите уравнение реакции синтеза аммиака и вычислите молярную массу эквивалента окислителя в этой реакции.

2. При азотфиксации молекулярного азота микроорганизмами в качестве промежуточного продукта образуется гидразин. Сколько электронов присоединяет в ходе этого процесса каждая молекула диазота?

3. Какой объем (мл) 12%-го раствора нитрата аммония плотностью 1,048 г/мл нужно взять для приготовления 500 мл раствора с титром 0,02 г/мл?

4. Напишите уравнение реакции диссоциации безводной азотной кислоты. Какой анион при этом образуется?

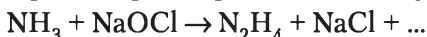
5. Напишите уравнение реакции получения триоксида диазота из монооксида и диоксида азота и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов. К какому типу окислительно-восстановительных реакций относится эта реакция?

### Вариант 6

1. Какой объем (л; н.у.) азота вступит в реакцию при получении 1 моль цианамида кальция из карбида кальция?

2. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение окислительно-восстановительной реакции и вычислите

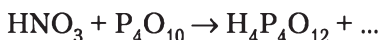
ее ЭДС, принимая во внимание, что в результате гидролиза гипохлорита натрия его раствор имеет щелочную реакцию:



3. Вычислите массу (г) гидроксилamina, которую можно получить при каталитическом восстановлении 44,8 л монооксида азота водородом.

4. Вычислите pH 0,01M раствора азотной кислоты. Отличием активности от концентрации пренебречь.

5. Закончите уравнение реакции обезвоживания азотной кислоты и назовите образующееся соединение азота:



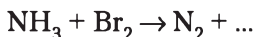
### Вариант 7

1. Какой объем (л) аммиака (н.у.) образуется при взаимодействии с водой 3,5 г нитрида лития?

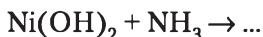
2. Под действием микроорганизмов, содержащих фермент уреазу, мочевина превращается в карбонат аммония. Составьте уравнение этой реакции. Сколько молекул воды требуется для осуществления этой реакции?

3. Вычислите pH раствора гидроксилamina, в 1 л которого содержится 3,3 г этого слабого основания.

4. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение протекающей в водном растворе окислительно-восстановительной реакции и вычислите ее ЭДС:



5. Закончите уравнение реакции и назовите образующееся комплексное соединение:



### Вариант 8

1. Напишите уравнение реакции окисления аммиака до монооксида азота и вычислите молярную массу эквивалента восстановителя.

2. Вычислите массу (г) азотноватистой кислоты, содержащейся в 1 л 0,2 M раствора.

3. Напишите уравнение реакции, используемой в промышленности для получения натриевой селитры, и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов.

4. Укажите тип гибридизации электронных орбиталей атома азота в молекуле аммиака и геометрическую конфигурацию этой молекулы.



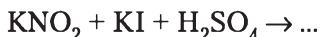
5. В соответствии с нормативами Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) содержание аммиака в питьевой воде не должно превышать 1,5 мг/л. Вычислите молярную концентрацию аммиака при его максимально допустимом содержании в воде.

### Вариант 9

1. Вычислите массу (г) азотной кислоты, содержащейся в 2 л раствора, pH которого равен 1,1. Коэффициент активности равен 0,785.

2. Вычислите pH 0,01 М раствора азотистой кислоты.

3. Закончите уравнение реакции и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



4. Определите валентность и степень окисления атомов азота в гидразине.

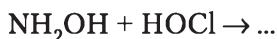
5. Напишите уравнение реакции полного разложения карбоната аммония при нагревании и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов.

### Вариант 10

1. Вычислите pH раствора, в 1 л которого содержится 1,26 г азотной кислоты. Коэффициент активности равен 0,871.

2. Вычислите pH 0,2 М раствора нитрита натрия.

3. Закончите уравнение реакции и вычислите молярную массу эквивалента восстановителя:



4. Напишите уравнение реакции, используемой в промышленности для получения кальциевой селитры, и подсчитайте сумму коэффициентов.

5. Какой объем (л; н.у.) газообразного аммиака можно получить из 1 л аммиачной воды плотностью 0,91 г/мл, содержащей 24% аммиака?

### Вариант 11

1. Вычислите массу (г) азотной кислоты, содержащейся в 1 л раствора, pH которого равен 0,45. Коэффициент активности равен 0,715.

2. Вычислите pH 0,2 М раствора аммиака в воде.

3. Напишите уравнение реакции диспропорционирования азотистой кислоты, происходящей в водных растворах при нагревании, и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов.

4. Напишите уравнение реакции гидролиза мочевины и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов.

5. Напишите химическую формулу комплексного соединения, которое называется сульфат нитрозилпентаакважелеза(II), и определите заряд внутренней координационной сферы.

### Вариант 12

1. Вычислите рН раствора, в 1 л которого содержится 6,3 г азотной кислоты. Коэффициент активности равен 0,785.

2. Массовая доля аммиака в аммиачной воде 1-го сорта, которую в промышленности получают из синтетического аммиака, составляет 25%. Вычислите молярную концентрацию аммиака в аммиачной воде 1-го сорта, если ее плотность равна 0,907 г/мл.

3. Закончите уравнение реакции и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



4. Определите тип гибридизации электронных орбиталей атома азота в катионе аммония и геометрическую форму этой частицы.

5. Напишите химическую формулу комплексного соединения, которое называется тетранитрозилжелезо, и определите заряд внутренней координационной сферы.

### Вариант 13

1. Вычислите массу (г) азотной кислоты, содержащейся в 1 л раствора, рН которого равен 3. Можно ли в данном случае пренебречь отличием активности от концентрации?

2. Вычислите рОН 0,2 М раствора аммиака в воде.

3. Напишите уравнение реакции термического разложения нитрата лития и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов.

4. Напишите уравнение реакции окисления гидроксил-амин хлорноватистой кислотой (HOCl) до молекулярного азота и вычислите ее ЭДС.

5. Напишите химическую формулу тетрафторобората нитрозила.

### Вариант 14

1. Вычислите рН 0,25 М раствора азотистой кислоты.

2. Вычислите рОН 0,5 М раствора аммиака в воде.

3. Какой объем газов в литрах (н.у.) образуется при термическом разложении нитрата меди?

4. Напишите химическую формулу азотноватистой кислоты. Какие она образует конформации?

5. Напишите уравнение реакции получения гидроксил-амина из монооксида азота и водорода и вычислите молярную массу эквивалента окислителя.

### Вариант 15

1. Вычислите массу (г) азотной кислоты, содержащейся в 100 мл раствора, рН которого равен 2,5. Отличием активности от концентрации пренебречь.

2. Вычислите рН раствора, в 1 л которого содержится 32 г гидразина.

3. Какой объем (л; н.у.) газов образуется при быстром нагревании 40 г аммиачной селитры?

4. Определите тип гибридизации электронных орбиталей атома азота в молекуле аммиака и геометрическую форму этой молекулы.

5. Закончите уравнение реакции компропорционирования и вычислите молярную массу эквивалента окислителя:



### Вариант 16

1. Вычислите рН раствора, в 10 л которого содержится 0,63 г азотной кислоты. Отличием активности от концентрации пренебречь.

2. Вычислите рН раствора, в 1 л которого содержится 23,1 г гидроксиламина.

3. Напишите уравнение реакции термического разложения нитрата ртути и вычислите молярную массу эквивалента окислителя.

4. Напишите уравнение реакции между монооксидом азота и натрием. Назовите образующийся анион и напишите его химическую формулу.

5. Напишите химическую формулу сульфата гексааммин-никеля(II). Какую роль играют в этом комплексном соединении молекулы аммиака?

### Вариант 17

1. Вычислите массу (г) азотной кислоты, содержащейся в 500 мл раствора, рН которого равен 0,38. Коэффициент активности равен 0,823.

2. Вычислите  $pOH$  раствора, в 1 л которого содержится 32 г гидразина.

3. Напишите уравнение реакции термического разложения нитрата натрия и вычислите молярную массу эквивалента атома-окислителя.

4. Напишите уравнение реакции димеризации нитро-кисл-ионов. Назовите образующийся анион и напишите его химическую формулу.

5. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение окислительно-восстановительной реакции и вычислите ее ЭДС:



### Вариант 18

1. Вычислите  $pH$  раствора, в 100 мл которого содержится 1,26 г азотной кислоты. Коэффициент активности равен 0,748.

2. Вычислите  $pH$  раствора, в 1 л которого содержится 0,47 г гидросиламина.

3. Вычислите степень окисления азота в карбамиде.

4. Напишите химическую формулу оксида диазота. Какую геометрическую форму имеют его молекулы?

5. Напишите уравнение реакции возгонки хлорида аммония и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов.

### Вариант 19

1. Вычислите массу (г) азотной кислоты, содержащейся в 1 л раствора,  $pH$  которого равен 2,3.

2. Вычислите  $pH$  раствора, в 1 л которого содержится 0,32 г гидразина.

3. Напишите уравнение реакции, используемой в промышленности для получения аммиака, и вычислите молярную массу эквивалента окислителя.

4. Напишите уравнение реакции диспропорционирования триоксида диазота в газообразном состоянии и вычислите степени окисления азота в продуктах реакции.

5. Определите валентность и степень окисления азота в трифториде азота.

### Вариант 20

1. Вычислите  $pH$  раствора, в 500 мл которого содержится 0,63 г азотной кислоты. Коэффициент активности равен 0,871.

2. Вычислите рОН раствора, в 1 л которого содержится 23,1 г гидроксилamina.

3. Напишите уравнение реакции, используемой в промышленности для получения хлорида аммония, и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов.

4. Определите тип гибридизации электронных орбиталей атома азота в нитрат-ионе и геометрическую форму этой частицы.

5. Напишите уравнение реакции взаимодействия диоксида азота с гидроксидом натрия и вычислите молярные массы эквивалента окислителя и восстановителя.

### Вариант 21

1. Вычислите рН раствора, в 1 л которого содержится 24,8 г азотноватистой кислоты.

2. Вычислите массу (г) гидразина, который можно получить при окислении 12 г мочевины раствором гипохлорита натрия в результате осуществления реакции



если выход гидразина составляет 60% от теоретически возможного.

3. Напишите уравнение реакции взаимодействия триоксида диазота с гидроксидом натрия и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов.

4. Определите валентность и степень окисления азота в катионе аммония.

5. Какой объем (л; н.у.) газов образуется при быстром нагревании аммиачной селитры?

### Вариант 22

1. Вычислите рН раствора, в 100 мл которого содержится 0,47 г азотистой кислоты.

2. Вычислите рОН раствора, в 1 л которого содержится 0,47 г гидроксилamina.

3. Вычислите степени окисления атомов азота в следующих веществах: гидразин, гидроксилamin, аммиак и запишите химические формулы этих веществ в порядке возрастания степени окисления.

4. Напишите химические формулы и названия катиона и аниона, из которых состоят кристаллы пентаоксида диазота.

5. Определите тип гибридизации электронных орбиталей атома азота в катионе нитроила и пространственную конфигурацию этой частицы.

**Вариант 23**

1. Какова концентрация азотистой кислоты в растворе, рН которого равен 2,18?

2. Вычислите рН раствора, в 1 л которого содержится 8,5 г аммиака.

3. Вычислите степени окисления азота в следующих катионах: аммония, гидразиния ( $2+$ ), гидроксиламиния и запишите химические формулы этих ионов в порядке возрастания степени окисления азота.

4. Закончите уравнение реакции компропорционирования и вычислите молярную массу эквивалента восстановителя:



5. Напишите уравнение единственной неферментативной реакции с участием молекулярного азота, которая происходит при обычных температурах, и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов.

**Вариант 24**

1. Вычислите молярную концентрацию катионов водорода в растворе, в 1 л которого содержится 0,47 г азотистой кислоты.

2. Вычислите рН 0,34%-го раствора аммиака в воде. Плотность принять равной 1 г/мл.

3. Напишите уравнение реакции, используемой в промышленности для получения аммиачной селитры, и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов.

4. Напишите химическую формулу и название кислоты, которая диссоциирует с образованием с гипонитрит-ионов.

5. Напишите химическую формулу вещества, с образованием которого самопроизвольно разлагаются термодинамически неустойчивые соединения азота.

**Вариант 25**

1. Массовая доля аммиака в аммиачной воде 1-го сорта составляет 25%. Вычислите рН этого раствора, если его плотность равна 0,907 г/мл.

2. Напишите химическую формулу комплексного соединения, которое называется тетранитритомеркурат(II) калия.

3. Напишите уравнение реакции окисления диоксида азота озоном и вычислите молярную массу эквивалента восстановителя.

4. Какой объем (л; н.у.) газов образуется при возгонке 53,5 г хлорида аммония?

5. В условиях тропосферы устойчивы следующие оксиды азота: оксид диазота, монооксид и диоксид азота. Вычислите степени окисления азота в этих соединениях и напишите их химические формулы в порядке возрастания степени окисления азота.

### Вариант 26

1. Чему равен рН 0,1 М раствора нитрата калия, если он изолирован от контакта с атмосферой?

2. Какой объем (л; н.у.) газообразного азота можно получить при термическом разложении 126 г дихромата аммония?

3. Вычислите степени окисления атомов азота в следующих ионах: катион нитрозила, нитроксил- и гипонитрит-ионы и запишите химические формулы этих ионов в порядке возрастания степени окисления азота.

4. Вычислите массу (г) карбамида, которую нужно взять для приготовления 1 л 0,1 М раствора.

5. Какова массовая доля (%) азота в живой массе человека? Какова масса (кг) азота, содержащегося в организме человека массой 70 кг?

### Вариант 27

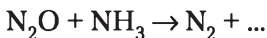
1. Вычислите рН раствора, в 500 мл которого содержится 10,6 г гипонитрита натрия.

2. Вычислите содержание азота (массовую долю в %) в карбамиде.

3. Какой объем (л; н.у.) монооксида азота можно получить при взаимодействии 19,2 г меди с разбавленной азотной кислотой, взятой в избытке?

4. Как называется происходящий в почвах процесс превращения азота органических соединений в аммиак и соединения аммония?

5. Пользуясь методом электронного баланса, закончите уравнение реакции компрпорционирования и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



### Вариант 28

1. Вычислите рН раствора, в 100 мл которого содержится 0,69 г нитрита натрия.

2. Какой объем (л; н.у.) оксида диазота можно получить при термическом разложении 4 г нитрата аммония?

3. Вычислите степени окисления атомов азота в следующих веществах: карбамид, азотноватистая кислота, тетрафтороборат(III) нитрозила и запишите химические формулы этих веществ в порядке возрастания степени окисления азота.

4. Как называется происходящий в почвах процесс превращения аммиака и катионов аммония в нитраты?

5. Напишите уравнение используемой в промышленности реакции, побочным продуктом которой является хлорид аммония, и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов.

### Вариант 29

1. Вычислите pH раствора, в 200 мл которого содержится 1,24 г азотноватистой кислоты.

2. Вычислите массу (г) амида кальция, которую можно получить при взаимодействии 40 г металлического кальция с жидким аммиаком, взятым в избытке.

3. Как называется процесс микробиологического восстановления нитрат-ионов до молекулярного азота?

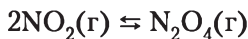
4. Напишите уравнение реакции гидролиза тетрафторобората нитрозила и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов.

5. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение окислительно-восстановительной реакции и вычислите ее ЭДС:



### Вариант 30

1. В каком направлении смещается равновесие реакции димеризации диоксида азота:



$$\Delta H = -57 \text{ кДж/моль}$$

а) при повышении давления; б) при повышении температуры?

2. Вычислите pH раствора, в 1 л которого содержится 6,9 г нитрита натрия.

3. Вычислите степени окисления азота в следующих минеральных удобрениях: жидкий аммиак, натриевая селитра, мочеви́на и запишите химические формулы этих удобрений в порядке возрастания степени окисления азота.



4. Напишите химические формулы и названия ионных форм азота, усваиваемых корневой системой растений.

5. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение окислительно-восстановительной реакции и вычислите ее ЭДС:



## Глава 14

# Химия фосфора

---

В результате успешного освоения материала этой главы студент должен:

— **знать:** химические свойства важнейших соединений фосфора;

— **уметь:** вычислять рН растворов кислородсодержащих кислот фосфора и их солей, а также массовую долю пентаоксида дифосфора в соединениях;

— **владеть:** представлениями о структуре важнейших соединений фосфора и их значении в природе и сельском хозяйстве.

**Изучите:** параграфы 19.1, 19.4, 19.5 гл. 19 учебника.

**Повторите:** параграфы 8.6, 8.7 гл. 8, параграф 11.2 гл. 11, параграф 12.2 гл. 12 учебника.

---

### 14.1. Вопросы для подготовки к коллоквиуму

1. Почему максимальная валентность у фосфора больше, чем у азота?

2. Какие аллотропные модификации фосфора вы знаете? Каковы их структуры и химические свойства?

3. Какое строение имеют молекулы фосфина и дифосфина? Каковы химические свойства этих веществ?

4. В чем заключаются различия в строении и химических свойствах тригалогенидов и пентагалогенидов фосфора?

5. Какое строение имеют молекулы оксидов фосфора? Каковы химические свойства этих веществ?

6. Какие кислородсодержащие кислоты фосфора вы знаете? Каковы структуры их молекул? Какие химические свойства проявляют эти кислоты? Как называются соли этих кислот? Каковы химические свойства этих солей?

7. Какие кислоты фосфора называют конденсированными? В чем заключаются различия в строении молекул полифосфорных, метафосфорных и ультрафосфорных кислот? Каковы химические свойства этих кислот, как называются их соли?

8. Какую роль играет фосфор в питании человека и кормлении сельскохозяйственных животных? Какие кормовые фосфаты вы знаете?

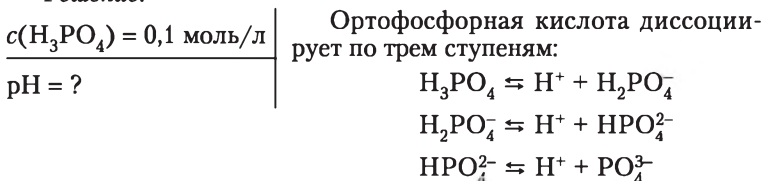
9. В виде каких ионов фосфор усваивается растениями? Какие фосфорные удобрения вы знаете? Каков их химический состав?

## 14.2. Примеры решения задач

### Пример 14.1.

**Задача.** Вычислите pH 0,1 М раствора ортофосфорной кислоты.

**Решение.**



и на каждой из ступеней диссоциации образуются катионы водорода. Однако вклад каждой из ступеней диссоциации в увеличение концентрации катионов водорода в растворе различен. Подавляющее большинство катионов водорода появляется в растворе благодаря диссоциации ортофосфорной кислоты по первой ступени. Это объясняется тем, что константа диссоциации ортофосфорной кислоты по второй ступени  $K_2$  примерно в 100 000 раз меньше константы диссоциации этой кислоты по первой ступени  $K_1$ :

$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{7,1 \cdot 10^{-3}}{6,2 \cdot 10^{-8}} = 1,15 \cdot 10^5 \approx 10^5,$$

поэтому диссоциацией по второй, а тем более по третьей ступени при расчете pH можно пренебречь.

Оценивая степень диссоциации ортофосфорной кислоты по первой ступени при заданной концентрации 0,1 моль/л по приближенному уравнению (4.1), получаем числовое значение  $\alpha$ , сравнимое с единицей:

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_1}{c(\text{H}_3\text{PO}_4)}} = \sqrt{\frac{7,1 \cdot 10^{-3}}{10^{-1}}} = 0,27, \text{ или } 27\%.$$

Так как степень диссоциации достаточно велика, в уравнении закона разведения Оствальда

$$K_1 = \frac{\alpha^2 c(\text{H}_3\text{PO}_4)}{1 - \alpha}$$

нельзя принимать знаменатель равным единице. Решая это уравнение относительно  $\alpha$ , получаем

$$\alpha = \frac{-K_1 + \sqrt{K_1^2 + 4K_1c}}{2c}.$$

Учитывая, что для первой ступени диссоциации ортофосфорной кислоты

$$\alpha = \frac{[\text{H}^+]}{c(\text{H}_3\text{PO}_4)},$$

получаем уравнение для расчета концентрации катионов водорода

$$[\text{H}^+] = \frac{-K_1 + \sqrt{K_1^2 + 4K_1c}}{2}.$$

Подставляя в это уравнение числовые значения концентрации ортофосфорной кислоты и ее константы диссоциации по первой ступени, вычисляем концентрацию катионов водорода и pH:

$$[\text{H}^+] = \frac{-7,1 \cdot 10^{-3} + \sqrt{(7,1 \cdot 10^{-3})^2 + 4 \cdot 7,1 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-1}}}{2} = 2,34 \cdot 10^{-2} \text{ моль/л};$$

$$\text{pH} = 1,63.$$

*Ответ.* 1,63.

### Пример 14.2.

**Задача.** Вычислите pH фосфатного буферного раствора, в 1 л которого содержится 0,05 моль дигидрофосфата калия и 0,05 моль гидрофосфата натрия.

*Решение.*

$$n(\text{KH}_2\text{PO}_4) = 0,05 \text{ моль}$$

$$n(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 0,05 \text{ моль}$$

$$V = 1 \text{ л}$$

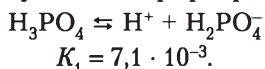
$$\text{pH} = ?$$

Фосфатные буферные растворы состоят из двух солей ортофосфорной кислоты. Тем не менее для расчета pH в таких буферных растворах можно использовать уравнение

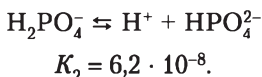
$$\text{pH} = -\lg K_{\text{кисл}} - \lg \frac{c_{\text{кисл}}}{c_{\text{соли}}}.$$

Роль кислоты играет дигидрофосфат-ион  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , константа диссоциации которого намного больше, чем у гидрофосфат-иона  $\text{HPO}_4^{2-}$ .

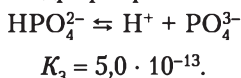
Константа диссоциации дигидрофосфат-иона — это константа диссоциации ортофосфорной кислоты по второй ступени. На первой ступени диссоциации от молекулы кислоты отщепляется один катион водорода и образуется дигидрофосфат-ион:



На второй ступени диссоциации кислоты катион водорода отщепляется от дигидрофосфат-иона, поэтому константа диссоциации ортофосфорной кислоты по второй ступени  $K_2$  характеризует кислотные свойства этого иона:



И наконец, третья ступень диссоциации ортофосфорной кислоты — это диссоциация гидрофосфат-иона:



Концентрации анионов равны концентрациям солей, в состав которых они входят, что очевидно из химических формул солей. Молярную концентрацию соли легко найти, если количество вещества соли, выраженное в молях, разделить на объем раствора, измеренный в литрах. Так как в условии задачи объем раствора равен 1 л, концентрация каждой из солей численно равна ее количеству вещества.

Вычисляем pH:

$$\text{pH} = -\lg(6,2 \cdot 10^{-8}) - \lg \frac{0,05}{0,05} = 7,21.$$

*Ответ.* 7,21.

### Пример 14.3.

**Задача.** Вычислите содержание фосфора (массовую долю в %) в пересчете на  $\text{P}_2\text{O}_5$  в диаммофосе.

**Решение.** В агрохимии принято выражать содержание фосфора в минеральных удобрениях в пересчете на  $\text{P}_2\text{O}_5$  (простейшая формула пентаоксида дифосфора). Прежде чем приступить к расчету, необходимо составить схему реакции превращения  $\text{P}_2\text{O}_5$  в названное в задаче минеральное удобрение, чтобы при помощи стехиометрических коэффициентов уравнять число атомов фосфора в химических формулах обоих веществ:



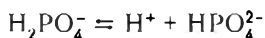
С учетом полученных стехиометрических коэффициентов вычисляем массовую долю  $\text{P}_2\text{O}_5$ , разделив его молярную массу на две молярные массы гидрофосфата аммония (диаммофоса):

$$\omega(\text{P}_2\text{O}_5) = \frac{M(\text{P}_2\text{O}_5)}{2M[(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4]} 100\% = \frac{142}{2 \cdot 132} 100\% = 53,8\%.$$

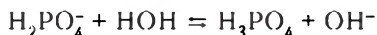
*Ответ.* 53,8%.

### Пример 14.4.

**Задача.** В растворе дигидрофосфата натрия происходят два конкурирующих процесса: диссоциация дигидрофосфат-иона



и гидролиз



Сравнив константы равновесия для этих процессов, определите, какой из них преобладает и какова реакция среды раствора (кислая или щелочная).

*Решение.* Первая реакция — диссоциация дигидрофосфат-иона определяет его кислотные свойства. Константа равновесия для этой реакции — это константа диссоциации дигидрофосфат-иона, т.е. константа диссоциации ортофосфорной кислоты по второй ступени (см. пример 14.2):  $K_2 = 6,2 \cdot 10^{-8}$ . Вторая реакция — реакция гидролиза приводит к появлению в растворе гидроксид-ионов. Константа равновесия для этой реакции — это константа гидролиза, равная отношению полного произведения воды к константе диссоциации ортофосфорной кислоты по первой ступени, так как именно  $\text{H}_3\text{PO}_4$  образуется в результате гидролиза дигидрофосфатов:

$$K_{\text{гидр}} = \frac{K_w}{K_1} = \frac{10^{-14}}{7,1 \cdot 10^{-3}} = 1,4 \cdot 10^{-12}.$$

Как очевидно, константа диссоциации больше, чем константа гидролиза, поэтому концентрация катионов водорода в растворе дигидрофосфата натрия выше, чем концентрация гидроксид-ионов. Реакция среды этого раствора кислая.

*Ответ.* Преобладает диссоциация, среда кислая.

## 14.3. Индивидуальные задания

### Вариант 1

1. Напишите химическую формулу фосфорсодержащего фрагмента биомолекул. Укажите для него тип гибридизации электронных орбиталей атома фосфора и пространственную конфигурацию.

2. В физиологических условиях организма человека  $\text{p}K_2$  ортофосфорной кислоты равен 6,8. Вычислите, чему равно отношение концентраций дигидрофосфат- и гидрофосфат-ионов в плазме крови, если ее  $\text{pH} = 7,4$ .

3. Напишите химические формулы следующих кислородсодержащих кислот фосфора в порядке возрастания их основности: ортофосфорная, фосфорноватистая, фосфористая.

4. Вычислите содержание фосфора (массовую долю в %) в пересчете на  $\text{P}_2\text{O}_5$  во фторапатите.

5. Напишите уравнение реакции диспропорционирования белого фосфора (тетрафосфора) при его взаимодействии

с концентрированным раствором гидроксида натрия и вычислите молярную массу эквивалента окислителя.

### Вариант 2

1. Укажите тип гибридизации электронных орбиталей атома фосфора в гексафторофосфат(V)-ионе и геометрическую форму этого иона.

2. Вычислите pH раствора, в 1 л которого содержится 2,72 г дигидрофосфата калия и 34,8 г гидрофосфата калия.

3. Напишите уравнение реакции гидролиза фосфита калия и вычислите степень гидролиза в 0,1 М растворе.

4. Вычислите содержание фосфора (массовую долю в %) в пересчете на  $P_2O_5$  в преципитате.

5. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение окислительно-восстановительной реакции и вычислите ее ЭДС:



Может ли мышьяковая кислота проявлять свойства окислителя?

### Вариант 3

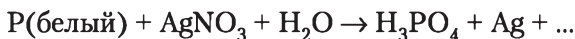
1. Напишите химическую формулу молекул, из которых состоят кристаллы белого фосфора. Чему равна градусная мера угла между связями P–P–P в этих молекулах?

2. Вычислите pH 0,02 М раствора фосфорноватистой кислоты.

3. Пользуясь рис. 19.19 учебника, определите, какая из полифосфорных кислот имеет самую большую массовую долю в фосфолеуме, если массовая доля декаоксида тетрафосфора в нем составляет 84%. Напишите название этой кислоты.

4. Вычислите содержание  $P_2O_5$  (массовую долю в %) в аммофосе.

5. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение окислительно-восстановительной реакции и вычислите ее ЭДС:



Окислителем или восстановителем является белый фосфор в этой реакции?

### Вариант 4

1. Пользуясь данными табл. 11.3 учебника, определите, близки ли к  $90^\circ$  валентные углы в молекуле фосфина.

Нужно ли привлекать концепцию гибридизации электронных орбиталей для объяснения геометрии этой молекулы?

2. Вычислите концентрацию фосфорноватистой кислоты в растворе, рН которого равен 1,52.

3. Напишите в сокращенной ионной форме уравнение реакции гидролиза гидрофосфита калия и вычислите степень гидролиза в 0,005 М растворе.

4. Вычислите массу (кг) двойного суперфосфата, который можно теоретически получить из 502 кг гидоксилапатита.

5. Составьте уравнение реакции окисления кислородом трихлорида фосфора в окситрихлорид и вычислите молярную массу эквивалента восстановителя.

### Вариант 5

1. Укажите тип гибридизации электронных орбиталей атома фосфора в декаоксиде тетрафосфора и геометрическую форму фрагментов  $\text{PO}_4$ , из которых состоят молекулы этого вещества.

2. Вычислите рН раствора, в 1 л которого содержится 0,1 моль дигидрофосфата калия и 0,1 моль гидрофосфата калия.

3. Напишите в сокращенной ионной форме уравнение реакции гидролиза гипофосфита натрия и вычислите константу гидролиза в 0,1 М растворе.

4. Вычислите содержание фосфора (массовую долю в %) в пересчете на  $\text{P}_2\text{O}_5$  в двойном суперфосфате.

5. Закончите уравнение реакции и вычислите молярную массу эквивалента окислителя:



### Вариант 6

1. Укажите тип гибридизации электронных орбиталей атома фосфора в ортофосфат-ионе и геометрическую форму этого иона.

2. Вычислите рН раствора, в 1 л которого содержится 15,8 г фосфита калия.

3. Напишите в сокращенной ионной форме уравнение реакции гидролиза гипофосфита калия и вычислите константу гидролиза.

4. Вычислите содержание фосфора (массовую долю в %) в пересчете на  $\text{P}_2\text{O}_5$  в кормовом фосфате, техническое название которого обесфторенный фосфат.



5. Напишите уравнение реакции горения фосфина на воздухе и вычислите молярную массу эквивалента восстановителя.

### Вариант 7

1. Укажите тип гибридизации электронных орбиталей атома фосфора в пентахлориде фосфора и геометрическую форму молекулы этого вещества, если оно находится в газообразном состоянии.

2. Вычислите рН раствора, в 1 л которого содержится 27,2 г дигидрофосфата калия и 17,4 г гидрофосфата калия.

3. Пользуясь рисунком 19.19 учебника, определите, какая из полифосфорных кислот имеет самую большую массовую долю в фосфолеуме, если массовая доля декаоксида тетрафосфора в нем составляет 78%. Напишите название этой кислоты.

4. Вычислите содержание фосфора (массовую долю в %) в пересчете на  $P_2O_5$  в простом суперфосфате.

5. Вычислите массовую долю кислоты в растворе, который образуется при растворении 22 г гексаоксида тетрафосфора в 478 мл холодной воды.

### Вариант 8

1. Укажите тип гибридизации электронных орбиталей атома фосфора в трихлориде фосфора и геометрическую форму молекулы этого вещества.

2. К 100 мл 0,2 М раствора ортофосфорной кислоты прилили 100 мл 0,6 М раствора гидроксида натрия. Вычислите рН полученного раствора.

3. Напишите химические формулы следующих конденсированных фосфорных кислот в порядке возрастания их основности: трифосфорная, триметафосфорная, пиропосфорная.

4. Вычислите массовую долю (%) кислоты в растворе, который образуется при взаимодействии 44 г гексаоксида тетрафосфора с 524 г горячей воды.

5. Вычислите массу (кг) белого фосфора, который можно получить теоретически из 50,4 кг фторапатита.

### Вариант 9

1. Определите число неспаренных электронов в атоме фосфора: а) в основном состоянии; б) в возбужденном состоянии.

2. Вычислите молярную концентрацию раствора фосфористой кислоты, рН которого равен 1,65.

3. Пользуясь рис. 19.19 учебника, определите, какие из конденсированных фосфорных кислот (с цепной структурой, циклические или с разветвленной структурой) имеют самую большую массовую долю в фосфолеуме, если массовая доля декаоксида тетрафосфора в нем составляет 88%. Напишите общее название этих кислот.

4. Вычислите массу (г) фосфида кальция, которую нужно взять для получения 1 л фосфина (н.у.).

5. Напишите уравнение реакции взаимодействия оксида фосфора(III) с кислородом и вычислите молярную массу эквивалента восстановителя.

### Вариант 10

1. Напишите химическую формулу и название фосфата, входящего в состав костей.

2. Вычислите рН раствора, в 1 л которого содержится по 0,2 моль дигидрофосфата и гидрофосфата натрия.

3. Напишите в сокращенной ионной форме уравнение реакции гидролиза фосфита натрия и вычислите степень гидролиза в 0,1 М растворе.

4. Вычислите содержание фосфора (массовую долю в %) в пересчете на  $P_2O_5$  в кормовом фосфате, техническое название которого диаммонийфосфат.

5. Вычислите массу (г) фосфорноватистой кислоты, которую можно получить при взаимодействии 260 г гипофосфита бария с серной кислотой, взятой в избытке.

### Вариант 11

1. Напишите химическую формулу и название фосфата, входящего в состав зубной эмали.

2. В физиологических условиях организма человека  $pK_2$  ортофосфорной кислоты равен 6,8. Вычислите рН плазмы крови, если отношение концентраций дигидрофосфата и гидрофосфата натрия в ней составляет 1 : 4.

3. Напишите химические формулы следующих кислородсодержащих кислот фосфора в порядке возрастания их силы: ортофосфорная, фосфорноватистая, фосфористая.

4. Вычислите массу (г) фосфористой кислоты, которую можно получить при взаимодействии 87,4 мл жидкого трихлорида фосфора плотностью 1,574 г/мл с водой, взятой в избытке, если выход составляет 67% от теоретического.

5. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение окислительно-восстановительной реакции и вычислите ее ЭДС:



Окислителем или восстановителем является белый фосфор в этой реакции?

### Вариант 12

1. Определите степень окисления, валентность и число неподеленных электронных пар атома фосфора в трифториде фосфора.

2. Вычислите массу (г) фосфорноватистой кислоты, содержащейся в 1 л раствора, рН которого равен 3.

3. Напишите химическую формулу и название неорганического аниона, который образуется при гидролизе аденозиндифосфата.

4. Вычислите содержание фосфора (массовую долю в %) в пересчете на  $\text{P}_2\text{O}_5$  в кормовом фосфате, техническое название которого преципитат кормовой.

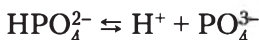
5. Составьте уравнение реакции получения белого фосфора в промышленности и вычислите молярную массу эквивалента окислителя.

### Вариант 13

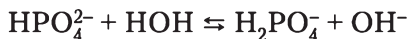
1. Определите степень окисления, валентность и число неподеленных электронных пар атома фосфора в пentaфториде фосфора.

2. Вычислите массу (г) фосфорноватистой кислоты, содержащейся в 1 л раствора с рН = 2.

3. В растворе гидрофосфата натрия происходят два конкурирующих процесса: диссоциация дигидрофосфат-иона



и гидролиз



Сравнив константы равновесия для этих процессов, определите, какой из них преобладает и какова реакция среды раствора (кислая или щелочная).

4. Вычислите содержание фосфора (массовую долю в %) в пересчете на  $\text{P}_2\text{O}_5$  в хлорапатите.

5. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение окислительно-восстановительной реакции и вычислите ее ЭДС:



Окислителем или восстановителем является красный фосфор в этой реакции?

#### Вариант 14

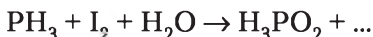
1. Пользуясь данными табл. 11.3 учебника, определите, близки ли к  $90^\circ$  валентные углы в молекуле арсина. Нужно ли привлекать концепцию гибридизации электронных орбиталей для объяснения геометрии этой молекулы?

2. Вычислите pH раствора, в 1 л которого содержится 0,05 моль гидрофосфата натрия и 0,1 моль фосфата натрия.

3. Напишите в сокращенной ионной форме уравнение реакции гидролиза гипофосфита натрия и вычислите степень гидролиза этой соли в 0,1 М растворе.

4. Вычислите содержание фосфора (массовую долю в %) в простом и двойном суперфосфате. Во сколько раз содержание фосфора в двойном суперфосфате больше, чем в простом? В зарубежной литературе двойной суперфосфат часто называют тройным. Отражает ли такое название соотношение содержания фосфора в этих двух видах минеральных удобрений?

5. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение окислительно-восстановительной реакции, на которой основан один из способов получения фосфорноватистой кислоты, и вычислите молярную массу эквивалента восстановителя:



#### Вариант 15

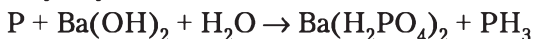
1. Определите тип гибридизации электронных орбиталей атома фосфора в катионе фосфония и геометрическую форму этого катиона, учитывая, что по геометрической форме он аналогичен катиону аммония.

2. Вычислите pH 0,1 М раствора фосфористой кислоты.

3. Напишите в сокращенной ионной форме уравнение реакции гидролиза ортофосфата калия и вычислите константу гидролиза.

4. Составьте уравнение реакции получения белого фосфора из фосфата кальция и подсчитайте, сколько электронов присоединяет один атом фосфора в этой реакции.

5. Пользуясь методом полуреакций, расставьте стехиометрические коэффициенты в уравнении реакции и подсчитайте их сумму:



**Вариант 16**

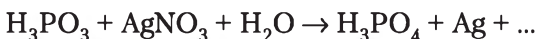
1. Определите тип гибридизации электронных орбиталей атома фосфора в молекуле трихлорид-оксида фосфора и геометрическую форму этой молекулы.

2. Вычислите молярную концентрацию раствора фосфорноватистой кислоты, pH которого равен 2.

3. Напишите в сокращенной ионной форме уравнение реакции гидролиза гидрофосфата аммония и вычислите степень гидролиза в 0,1 М растворе.

4. Вычислите массовую долю (%) фосфора в организме человека, если в нем содержится 1,5 кг этого элемента. (Массу человека принять равной 70 кг.)

5. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение окислительно-восстановительной реакции и вычислите ее ЭДС:



Окислителем или восстановителем является фосфористая кислота в этой реакции?

**Вариант 17**

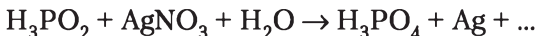
1. Напишите химическую формулу и название соединения фосфора с серой, которое входит в состав зажигательной смеси для спичечных коробков.

2. Вычислите массу (г) фосфористой кислоты, содержащейся в 500 мл раствора, pH которого равен 1,3.

3. Напишите в сокращенной ионной форме уравнение реакции гидролиза гидрофосфата аммония и вычислите степень гидролиза в 0,1 М растворе.

4. Напишите химическую формулу гексафторофосфорной кислоты.

5. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение окислительно-восстановительной реакции и вычислите ее ЭДС:



Окислителем или восстановителем является фосфорноватистая кислота в этой реакции?

**Вариант 18**

1. Укажите тип гибридизации электронных орбиталей атома фосфора в декасульфиде тетрафосфора и геометрическую форму фрагментов  $\text{PS}_4$ , из которых состоит молекулы этого вещества, учитывая аналогичность в строении молекул тетрасульфида и тетраоксида фосфора.

2. Вычислите pH раствора, в 1 л которого содержится 120 г дигидрофосфата натрия и 142 г гидрофосфата натрия.

3. Вычислите молярную концентрацию 44%-го раствора ортофосфорной кислоты плотностью 1,285 г/мл.

4. Вычислите содержание оксида фосфора(V) (массовую долю в %) в ортофосфате кальция.

5. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции и вычислите ее ЭДС:



### Вариант 19

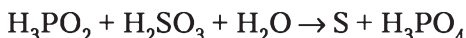
1. Определите степень окисления и валентность атома фосфора в иоде фосфония.

2. Вычислите pH 0,2 М раствора ортофосфорной кислоты.

3. Напишите в сокращенной ионной форме уравнение реакции гидролиза гидрофосфата аммония и вычислите степень гидролиза в 0,001 М растворе.

4. Вычислите содержание оксида фосфора(V) (массовую долю в %) в фосфоритной муке.

5. Пользуясь методом полуреакций, расставьте стехиометрические коэффициенты в уравнении реакции и вычислите ЭДС реакции:



### Вариант 20

1. Определите тип гибридизации электронных орбиталей атома фосфора в гипофосфит-ионе и геометрическую форму этого иона.

2. Вычислите pH раствора, для получения 1 л которого разбавили водой 10 г 40%-го раствора ортофосфорной кислоты плотностью 1,255 г/мл.

3. Пользуясь рис. 19.19 учебника, определите, какая из кислородсодержащих кислот фосфора имеет самую большую массовую долю в фосфолеуме, если массовая доля декаоксида тетрафосфора в нем составляет 84%. Напишите название этой кислоты.

4. В американской литературе содержание элементов в объектах окружающей среды выражают в частях на миллиард (ppb). Содержание фосфора в организме человека составляет 11 000 000 ppb. Вычислите массовую долю (%) фосфора в организме человека в пересчете на оксид фосфора(V).

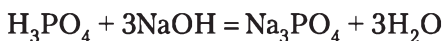
5. Гипофосфит-ион — сильный восстановитель. На его способности восстанавливать катион  $\text{Ni}^{2+}$  основан химический (без использования электрического тока) способ нанесения равномерных по толщине никелевых покрытий на поверхности как металлов, так и диэлектриков. Пользуясь методом полуреакций, закончите упрощенное уравнение реакции, описывающей этот процесс, и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



### Вариант 21

1. Определите тип гибридизации электронных орбиталей атома фосфора в молекуле фосфористой кислоты и геометрическую форму этой молекулы.

2. Вычислите pH 0,3 н. раствора ортофосфорной кислоты. Молярная концентрация эквивалента кислоты вычислена для реакции



3. Напишите химические формулы следующих кислот фосфора в порядке возрастания степени окисления фосфора: ортофосфорная, фосфорноватистая, фосфористая.

4. Вычислите массу (кг) фосфорита, содержащего 90% ортофосфата кальция, которая требуется для получения 1 т простого суперфосфата.

5. Составьте уравнение реакции горения фосфина на воздухе и вычислите молярную массу эквивалента восстановителя в этой реакции.

### Вариант 22

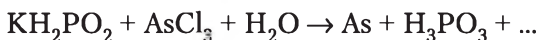
1. Определите тип гибридизации электронных орбиталей атома фосфора в гидрофосфит-ионе и геометрическую форму этого иона.

2. Вычислите pH 0,1 М раствора ортофосфата натрия.

3. Составьте уравнение реакции гидролиза трихлорида фосфора и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов.

4. Составьте уравнение реакции получения ортофосфорной кислоты в промышленности с использованием ортофосфата кальция и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов.

5. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



### Вариант 23

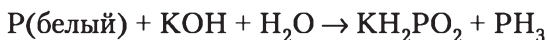
1. Определите тип гибридизации электронных орбиталей атома фосфора в молекуле ортофосфорной кислоты и геометрическую форму этой молекулы.

2. Вычислите pH 0,01 н. раствора фосфорноватистой кислоты.

3. Составьте в сокращенной ионной форме уравнение реакции гидролиза фосфита натрия и вычислите константу гидролиза.

4. Вычислите содержание оксида кальция (массовую долю в %) в нитрофоске.

5. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции и вычислите ее ЭДС:



### Вариант 24

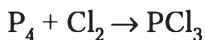
1. Пользуясь данными табл. 11.3 учебника, определите, близки ли к  $90^\circ$  валентные углы в молекуле стибина. Нужно ли привлекать концепцию гибридизации электронных орбиталей для объяснения геометрии этой молекулы?

2. Вычислите pH раствора ортофосфорной кислоты, титр которого равен 0,0294 г/мл.

3. Составьте в сокращенной ионной форме уравнение реакции гидролиза фосфита натрия и вычислите степень гидролиза (%) в 0,04 М растворе этой соли.

4. Вычислите содержание азота (массовую долю в %) в нитрофоске.

5. Пользуясь методом электронного баланса, расставьте стехиометрические коэффициенты в уравнении реакции и подсчитайте их сумму:



### Вариант 25

1. Определите тип гибридизации электронных орбиталей атома фосфора в молекуле трихлорид-сульфида фосфора и геометрическую форму этой молекулы.



2. Вычислите pH раствора, для приготовления 1 л которого взяли 68 г дигидрофосфата калия и 87 г гидрофосфата калия.

3. Составьте уравнение реакции гидролиза фосфата калия и вычислите константу гидролиза по первой ступени.

4. Вычислите содержание кальция (массовую долю в %) в фосфоритной муке.

5. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции и вычислите ее ЭДС:



### Вариант 26

1. Определите тип гибридизации электронных орбиталей атома фосфора в фосфит-ионе и геометрическую форму этого иона.

2. При кипячении 1 л раствора, для приготовления которого взяли 2,4 г триметафосфорной кислоты, эта кислота полностью разрушилась с образованием ортофосфорной кислоты. Вычислите pH полученного раствора ортофосфорной кислоты.

3. Вычислите pH раствора, в 1 л которого содержится 0,05 моль дигидрофосфата калия и 0,05 моль гидрофосфата калия.

4. Какой объем фосфина (л; н.у.) можно получить при взаимодействии 20 г фосфида натрия с водой?

5. Пользуясь методом электронного баланса, расставьте стехиометрические коэффициенты в уравнении реакции и подсчитайте их сумму:



### Вариант 27

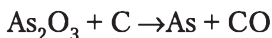
1. Сколькими атомами кислорода связан со своими соседями срединный тетраэдр  $\text{PO}_4$  в молекуле трифосфорной кислоты? Какова основность этой кислоты?

2. Вычислите pH 2%-го раствора ортофосфата натрия плотностью 1,019 г/мл.

3. Какой объем фосфина (л; н.у.) можно получить при взаимодействии 200 г фосфида натрия с хлороводородной кислотой?

4. Определите тип гибридизации электронных орбиталей атома фосфора в пентабромиде фосфора и геометрическую форму молекулы этого вещества.

5. Пользуясь методом электронного баланса, расставьте стехиометрические коэффициенты в уравнении реакции, подсчитайте их сумму и вычислите молярную массу эквивалента окислителя:



### Вариант 28

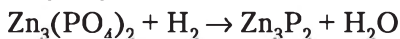
1. Сколькими атомами кислорода связан со своим соседом каждый из тетраэдров  $\text{PO}_4$  в молекуле пиродифосфорной кислоты? Какова основность этой кислоты?

2. Вычислите pH раствора, для приготовления 1 л которого взяли 35,8 г  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  и 31,2 г  $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

3. Вычислите pH раствора, в 1 л которого содержится 0,05 моль дигидрофосфата натрия и 0,05 моль гидрофосфата натрия.

4. Какой объем фосфина (л; н.у.) можно получить из 50 г фосфида натрия?

5. Пользуясь методом электронного баланса, расставьте стехиометрические коэффициенты в уравнении реакции и подсчитайте их сумму:



### Вариант 29

1. Сколькими атомами кислорода связан со своими соседями каждый из тетраэдров  $\text{PO}_4$  в молекуле триметафосфорной кислоты? Какова основность этой кислоты?

2. Вычислите концентрацию катионов водорода в 4%-м растворе ортофосфорной кислоты плотностью 1,020 г/мл.

3. Растворимость фосфата кальция составляет  $8 \cdot 10^{-5}$  моль/л. Вычислите массу (г) этой соли, содержащейся в 1 л насыщенного раствора.

4. Вычислите pH раствора, в 1 л которого содержится 0,25 моль дигидрофосфата калия и 0,25 моль гидрофосфата калия.

5. Какой объем фосфина (л; н.у.) можно получить из 100 г фосфида натрия?

### Вариант 30

1. Сколькими атомами кислорода связан со своими соседями тетраэдр  $\text{PO}_4$ , находящийся в точке разветвления в молекуле простейшей из ультрафосфорных кислот? Какова основность этой кислоты?

2. Вычислите pH водного раствора ортофосфата натрия, для приготовления 1 л которого взяли 19 г кристаллогидрата  $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ .

3. Напишите химическую формулу и название неорганического аниона, образующегося на первой стадии гидролиза АТФ.

4. Растворимость гидрофосфата кальция составляет  $1,1 \cdot 10^{-3}$  моль/л. Вычислите массу (г) этой соли, содержащейся в 1 л насыщенного раствора.

5. Напишите уравнение реакции горения дифосфина и вычислите молярную массу эквивалента восстановителя в этой реакции.

## Глава 15

# Химия кислорода и серы

---

В результате успешного освоения материала этой главы студент должен:

— **знать:** химические свойства важнейших соединений кислорода и серы;

— **уметь:** составлять уравнения окислительно-восстановительных реакций с участием соединений кислорода и серы;

— **владеть:** представлениями о структуре важнейших соединений кислорода и серы и их значении в природе и сельском хозяйстве.

**Изучите:** гл. 20 учебника.

**Повторите:** гл. 12 учебника.

---

### 15.1. Вопросы для подготовки к коллоквиуму

1. Чем различаются электронные структуры атомов кислорода и серы?

2. Чем различается электронное строение молекул диоксида и азота?

3. Каковы различия в строении молекул и химических свойствах аллотропных модификаций кислорода?

4. Какие ионы образуются при ступенчатом заполнении разрыхляющих орбиталей молекулы диоксида электроны: а) при заполнении одной  $\pi^*2p$ -орбитали; б) при заполнении обеих  $\pi^*2p$ -орбиталей; в) при заполнении двух  $\pi^*2p$ -орбиталей и одной  $\sigma^*2p$ -орбитали? Какие классы оксидов содержат в своей кристаллической решетке эти ионы?

5. В каких группах периодической системы Д. И. Менделеева располагаются  $s$ - и  $p$ -элементы, высшие оксиды которых являются: а) основными; б) амфотерными; в) кислотными; г) устойчивыми; д) оксидами-окислителями?

6. Как изменяются в группах периодической системы Д. И. Менделеева основной характер амфолитов и сила кислот, соответствующих низшим оксидам  $p$ -элементов?

7. Каковы кислотно-основные и окислительно-восстановительные свойства пероксида водорода?

8. Каковы кислотно-основные и окислительно-восстановительные свойства сероводорода?

9. Каковы строение молекулы и химические свойства диоксида и триоксида серы?

10. Каковы окислительно-восстановительные свойства сульфитов?

11. Каково строение молекулы серной кислоты? Каковы химические свойства серной кислоты?

12. Каково строение тиосульфат-иона? Каковы химические свойства тиосульфатов?

13. Каково строение тиоциановой кислоты? Какую роль играют тиоцианат-ионы в комплексных соединениях?

14. Какие соединения серы находят применение в сельском хозяйстве?

15. Какова экологическая роль соединений серы?

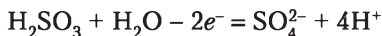
16. Какую роль в жизнедеятельности животных играют соединения селена в больших и небольших концентрациях?

## 15.2. Примеры решения задач

### Пример 15.1.

**Задача.** Присутствующий в атмосфере диоксид серы может растворяться в капельках воды (дождь, туман, облака), образующийся раствор имеет кислую реакцию, поэтому состояние диоксида серы в нем часто изображают формулой  $\text{H}_2\text{SO}_3$  и называют сернистой кислотой, хотя существование молекул такого состава не доказано. Пользуясь методом полуреакций, составьте уравнение реакции окисления сернистой кислоты пероксидом водорода до серной кислоты и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов. Вычислите ЭДС этой реакции. Будет ли эта реакция протекать в заданном направлении самопроизвольно?

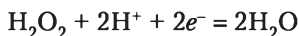
**Решение.** В прил. 6 находим полуреакцию окисления сернистой кислоты до сульфат-иона:



$$E^0_{\text{восст.}} = 0,17 \text{ В.}$$

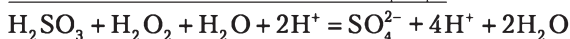
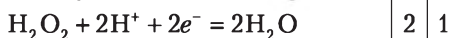
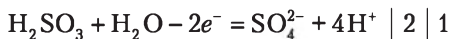
(В прил. 6 эта полуреакция приведена в соответствии с рекомендациями ИЮПАК как полуреакция восстановления сульфат-иона до сернистой кислоты.)

В этом же приложении находим полуреакцию восстановления пероксида водорода в кислой среде:

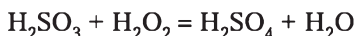


$$E^0_{\text{окисл}} = 1,776 \text{ В.}$$

Сложив полуреакции, получим уравнение результирующей окислительно-восстановительной реакции:



После сокращения однородных членов ( $2\text{H}^+$  и  $\text{H}_2\text{O}$ ) в левой и правой частях уравнения и соединения двух оставшихся катионов водорода и сульфат-иона в молекулу серной кислоты получаем



Сумма стехиометрических коэффициентов в этом уравнении равна 4 ( $1 + 1 + 1 + 1$ ).

Вычисляем ЭДС этой реакции как разность стандартных окислительно-восстановительных потенциалов окислителя (предполагая, что им является пероксид водорода) и восстановителя (предполагая, что эту роль играет сернистая кислота):

$$\text{ЭДС} = E^0_{\text{окисл}} - E^0_{\text{восст}} = 1,776 - 0,17 = 1,606 \text{ В.}$$

Положительное значение ЭДС свидетельствует о том, что эта реакция протекает самопроизвольно в заданном направлении, т.е. пероксид водорода окисляет диоксид серы в водном растворе до серной кислоты.

*Ответ.* 4; 1,606 В; да.

### Пример 15.2.

**Задача.** В качестве биологического индикатора загрязнения воздуха выбросами диоксида серы можно использовать лишайники. Все виды лишайников погибают, если содержание  $\text{SO}_2$  в атмосфере превышает  $0,5 \text{ мг/м}^3$ . Вычислите, чему равна объемная доля ( $\text{млн}^{-1}$ ) диоксида серы в воздухе при таком содержании  $\text{SO}_2$ .

*Решение.*

$\frac{m(\text{SO}_2) = 0,5 \text{ мг}}{V(\text{воздуха}) = 1 \text{ м}^3}$	$v(\text{SO}_2) = ?$	<p>Объемная доля — это отношение объема растворенного вещества к объему раствора. Это определение относится как к жидким, так и к газовым растворам. В условии задачи речь идет о газовом растворе — воздухе, а растворенным веществом является диоксид серы.</p>
---	----------------------	---

Объемная доля диоксида серы в воздухе равна отношению объема  $\text{SO}_2$  к объему воздуха:

$$v(\text{SO}_2) = \frac{V(\text{SO}_2)}{V(\text{воздуха})} 10^6 \text{ млн}^{-1}. \quad (15.1)$$

Отношение  $\frac{V(\text{SO}_2)}{V(\text{воздуха})}$  умножено на  $10^6$  для того, чтобы объемная доля выражалась в миллионных долях.

Для расчета объема диоксида серы вычисляем количество вещества диоксида серы:

$$n(\text{SO}_2) = \frac{m(\text{SO}_2)}{M(\text{SO}_2)}.$$

Прежде чем подставлять в это уравнение числовые значения массы и молярной массы диоксида серы, переведем массу  $m(\text{SO}_2)$  в граммы. Для этого 0,5 умножим на  $10^{-3}$ , так как 1 миллиграмм — это тысячная часть грамма, т.е.  $1 \text{ мг} = 10^{-3} \text{ г}$ :

$$n(\text{SO}_2) = \frac{0,5 \cdot 10^{-3}}{64,06} = 0,0078 \cdot 10^{-3} = 7,8 \cdot 10^{-6} \text{ моль}.$$

Теперь вычислим объем диоксида серы. Для этого количество вещества умножим на молярный объем газа:

$$V(\text{SO}_2) = n(\text{SO}_2) \cdot V_n = 7,8 \cdot 10^{-6} \cdot 22,4 = 174,7 \cdot 10^{-6} \text{ л}.$$

И наконец, вычисляем объемную долю диоксида серы в воздухе, подставляя числовые значения величин в уравнение (15.1). При этом объем воздуха приведен в литрах ( $1 \text{ м}^3 = 1000 \text{ л}$ ):

$$v(\text{SO}_2) = \frac{174,7 \cdot 10^{-6}}{1000} 10^6 = 0,1747 \approx 0,17 \text{ млн}^{-1}.$$

Ответ.  $0,17 \text{ млн}^{-1}$ .

## 15.3. Индивидуальные задания

### Вариант 1

1. Вычислите молярную массу эквивалента кислорода в реакции окисления полисульфидов кальция, которая обуславливает фунгицидное и акарицидное (убивает клещей) действие известково-серного отвара (ИСО):



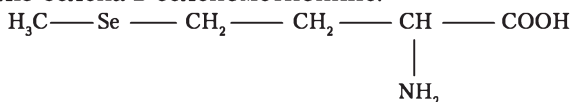
2. В виноградном сусле содержатся сероводород и сернистый газ. Напишите уравнение реакции компропорционирования, происходящей при взаимодействии этих веществ и приводящей к образованию элементарной серы в виде мелких шариков. Вычислите ЭДС этой реакции.

3. В почвах, отвоеванных у моря, серные бактерии окисляют минерал пирит до серной кислоты. В результате этого

pH почвы снижается до 1. Вычислите молярную концентрацию серной кислоты в такой почве, пренебрегая диссоциацией этой кислоты по второй ступени.

4. Напишите химический символ и название того из элементов VIA-подгруппы, для которого не получен оксид, аналогичный триоксиду серы.

5. В организмах животных и человека селен находится главным образом в виде двух селеносодержащих аминокислот: селенометионина и селеноцистеина. Вычислите массовую долю селена в селенометионине:



### Вариант 2

1. Напишите уравнение реакции, происходящей при сжигании серы, и вычислите молярную массу эквивалента окислителя.

2. Во сколько раз кларк кислорода в земной коре превышает кларк серы?

3. Медный купорос обладает фунгицидным действием, его используют для приготовления бордоской жидкости. Вычислите массовую долю (%) сульфата меди в этом кристаллогидрате.

4. Какую геометрическую форму имеет молекула озона (трикислорода)?

5. При окислении серы обитающими в почве микроорганизмами образуются следующие соединения: тиосульфат-ионы, сульфит-ионы, сульфат-ионы, тетратионат-ионы. Вычислите степени окисления серы в этих соединениях и напишите их химические формулы в порядке возрастания степени окисления серы.

### Вариант 3

1. Напишите уравнение полуреакции окисления пероксида водорода в кислой среде и вычислите молярную массу эквивалента этого вещества.

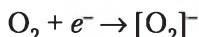
2. Присутствующий в атмосфере диоксид серы может растворяться в капельках воды (дождь, туман, облака), образующийся раствор имеет кислую реакцию, поэтому состояние диоксида серы в нем часто изображают формулой  $\text{H}_2\text{SO}_3$  и называют сернистой кислотой, хотя существование молекул такого состава не доказано. Пользуясь



методом полуреакций, составьте уравнение реакции окисления сернистой кислоты озонем до серной кислоты. Вычислив ЭДС этой реакции, установите, будет ли эта реакция протекать в заданном направлении самопроизвольно.

3. Водный раствор полисульфидов кальция, известный под названием известково-серный отвар (ИСО), обладает фунгицидным и акарицидным (убивает клещей) действием. Для приготовления 1 л ИСО плотностью 1,007 г/мл взяли 100 мл 30%-го исходного маточного раствора полисульфидов кальция плотностью 1,285 г/мл. Вычислите массовую долю (%) полисульфидов кальция в полученном ИСО.

4. Частицы с неспаренными электронами на внешних энергетических подуровнях называют радикалами. В медицинской литературе надпероксид-ион часто называют супероксидным анион-радикалом. Изучив рис. 20.1 учебника, скажите, действительно ли при заполнении одной из двух  $\pi^*2p$ -орбиталей молекулы  $O_2$  электронной парой в результате полуреакции



образуется анион, имеющий в своем составе неспаренный электрон.

5. Вычислите массу (г) гидросульфата калия, который можно получить при осторожном нагревании в платиновой чашке 87 г сульфата калия и 27 мл 96%-го раствора серной кислоты плотностью 1,84 г/мл.

#### Вариант 4

1. В затопляемых или постоянно переувлажненных почвах сульфат-ионы восстанавливаются микроорганизмами до сульфид-ионов. Напишите уравнение соответствующей полуреакции и вычислите молярную массу эквивалента сульфат-иона.

2. Во сколько раз кларк селена в земной коре превышает кларк теллура?

3. В медицине в качестве наружного бактерицидного средства применяют 3%-й водный раствор пероксида водорода. Вычислите молярную концентрацию этого раствора, если его плотность равна 1,01 г/мл.

4. Какую геометрическую форму имеют ионы  $SiO_4^{4-}$  и  $AlO_4^{5-}$ , в составе которых кислород находится в главных минералах земной коры — силикатах и алюмосиликатах?

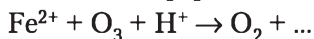
5. Как поделочный материал широко используют состоящий из полупрозрачных кристаллов минерал селенит,

обладающий шелковистым блеском и имеющий в зависимости от содержащихся в нем примесей различные цвета — от голубовато-белого до розового или желтого. Однако название этого минерала может ввести в заблуждение: в его составе нет селена. Минерал селенит — это структурная разновидность гипса. Напишите химическую формулу селенита.

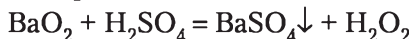
### Вариант 5

1. Вычислите молярную массу эквивалента диоксида в реакции окисления лития до оксида лития.

2. Закончите, пользуясь методом полуреакций, уравнение реакции в сокращенной ионной форме и вычислите ее ЭДС:



3. Пероксид водорода впервые был получен французским химиком Л. Тенаром в результате реакции между пероксидом бария и серной кислотой:



Вычислите массу (г) пероксида водорода, которую можно получить при взаимодействии 100 мл 18%-го раствора серной кислоты плотностью 1,065 г/мл и 40 г пероксида бария.

4. Какие типы гибридизации электронных орбиталей атом кислорода проявляет в функциональных группах биомолекул?

5. Фитопланктон морей и океанов восстанавливает сульфат-ионы с образованием газообразного диметилсульфида  $\text{H}_3\text{C}-\text{S}-\text{CH}_3$ . Вычислите массовую долю (%) серы в этом соединении.

### Вариант 6

1. Присутствующий в атмосфере диоксид серы может растворяться в капельках воды (дождь, туман, облака) и окисляться в водном растворе озоном до серной кислоты. Водный раствор диоксида серы принято называть сернистой кислотой. Напишите уравнение полуреакции окисления сернистой кислоты до сульфат-иона и вычислите молярную массу эквивалента этого вещества.

2. Кислые соли пероксида водорода неустойчивы и существуют только в водных растворах. Исключение составляет гидропероксид аммония, который можно выделить в кристаллическом состоянии. При нагревании до 45°C происходит диспропорционирование гидропероксид-иона. Пользуясь методом электронного баланса, составьте уравнение реакции разложения гидропероксида аммония, принимая

во внимание, что продуктами реакции являются диоксид серы, вода и аммиак.

3. Массовая доля  $\text{H}_2\text{SO}_4$  в нитрозной серной кислоте составляет 75%. Вычислите молярную концентрацию этого раствора, если его плотность равна 1,67 г/мл.

4. Подвергаются ли гибридизации электронные орбитали атома серы в молекуле сероводорода?

5. Во сколько раз массовая доля кислорода в сухой биомассе растений в среднем превышает массовую долю азота?

### Вариант 7

1. Напишите уравнение реакции взаимодействия концентрированной серной кислоты с углеродом и вычислите молярную массу эквивалента окислителя.

2. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение окислительно-восстановительной реакции и вычислите ее ЭДС:



3. Лучший растворитель серы — дисульфид углерода (сероуглерод)  $\text{CS}_2$ . В 100 г дисульфида углерода при 20°C растворяется 41,8 г ромбической серы. Вычислите массовую долю серы в насыщенном растворе.

4. Образуются ли межмолекулярные водородные связи в жидком и твердом сероводороде?

5. Каким образом изменяются (увеличиваются или уменьшаются) температуры плавления и кипения простых веществ в ряду  $\text{O}-\text{S}-\text{Se}-\text{Te}$ ?

### Вариант 8

1. Растворенный в воде сероводород медленно окисляется кислородом до элементной серы. Напишите уравнение соответствующей реакции и вычислите: а) сумму стехиометрических коэффициентов; б) молярную массу эквивалента восстановителя.

2. Во сколько раз массовая доля кислорода в гидросфере превышает его массовую долю в атмосфере?

3. Сера не растворяется в воде и не смачивается ею. Для получения смачивающегося порошка серы к нему добавляют эмульгаторы и смачиватели. Массовая доля элементной серы в смачивающемся порошке составляет 90%. Какую массу (кг) 1%-й суспензии серы, которую используют для борьбы с растительноядными клещами, можно получить из 1 кг смачивающегося порошка?

4. Пероксид натрия используют для регенерации воздуха на подводных лодках. Напишите уравнение реакции взаимодействия пероксида натрия с углекислым газом, в результате которой образуется диоксиген, и вычислите объем кислорода, который можно получить при полном разложении 39 г пероксида натрия.

5. В состав питательного раствора Прянишникова для выращивания овощей в защищенном грунте (см. прил. 2) входят сульфаты магния и кальция. Вычислите массовую долю сульфат-ионов в этом растворе. Плотность раствора принять равной 1 г/мл.

### Вариант 9

1. При нагревании измельченной серы с растворами щелочей происходит реакция диспропорционирования, в которой сера играет роль как окислителя, так и восстановителя. Напишите уравнение соответствующей реакции и вычислите молярную массу эквивалента серы как окислителя.

2. Пользуясь методом полуреакций, закончите в молекулярной форме уравнение реакции, при помощи которой можно осадить селен 99,5%-й чистоты, и вычислите ее ЭДС:



3. Согласно нормативам Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) содержание сероводорода в питьевой воде не должно превышать 0,05 мг/л. В случае превышения этого значения вода приобретает неприятные запах и привкус. Какой должна быть молярная концентрация сероводорода в воде, чтобы она соответствовала нормативам ВОЗ?

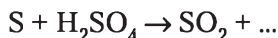
4. Какую геометрическую форму имеет сульфат-ион?

5. Напишите химический символ самого распространенного элемента литосферы.

### Вариант 10

1. Вычислите молярную массу эквивалента диоксигена в реакции восстановления его до надпероксид-иона.

2. Пользуясь методом полуреакций, закончите в молекулярной форме уравнение реакции компрпропорционирования серы и вычислите ее ЭДС, учитывая, что в полуреакциях, приведенных в прил. 6, диоксид серы, растворенный в воде, условно обозначен формулой  $\text{H}_2\text{SO}_3$ :



3. В соответствии с нормативами Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) содержание сульфат-ионов в питьевой воде не должно превышать 250 мг/л. В противном случае вода приобретает неприятный привкус. Какой должна быть молярная концентрация сульфат-ионов в воде, чтобы она соответствовала нормативам ВОЗ?

4. Каков тип гибридизации электронных орбиталей атома кислорода в молекулах кислот, в которых присутствуют мостиковые связи  $\text{Э}-\text{O}-\text{H}$  (в серной кислоте, например, это  $\text{S}-\text{O}-\text{H}$ )?

5. Серные бактерии используют реакции окисления соединений серы в качестве источника энергии для своей жизнедеятельности. В частности, серные бактерии вида *Thiobacillus intermedius* окисляют следующие частицы:  $\text{S}^{2-}$ ,  $\text{S}^0$ ,  $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ ,  $\text{S}_4\text{O}_6^{2-}$ . Выпишите из этого ряда ту химическую формулу, которая соответствует одному из полиитионат-ионов.

### Вариант 11

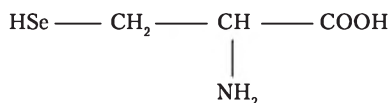
1. Напишите уравнение реакции, происходящей при сжигании серы, и вычислите молярную массу эквивалента восстановителя.

2. В 1 л виноградного сусле, приготовленного по шампанскому способу, содержится 3,9 мг кислорода. Вычислите молярную концентрацию эквивалента кислорода в таком сусле, если он восстанавливается до пероксида водорода.

3. Массовая доля  $\text{H}_2\text{SO}_4$  в аккумуляторной серной кислоте составляет 92%, ее плотность равна 1,824 г/мл. Вычислите молярную концентрацию эквивалента серной кислоты в этом растворе, если она вступает в реакцию с углеродом.

4. У людей с повышенной чувствительностью к диоксиду серы даже кратковременное воздействие этого вещества с концентрацией 1,3 мг/м<sup>3</sup> вызывает раздражение слизистой оболочки и кашель. Вычислите объемную долю диоксида серы в воздухе, который вызывает указанные симптомы.

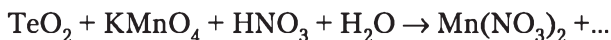
5. В организмах животных и человека селен находится главным образом в виде двух селеносодержащих аминокислот: селенометионина и селеноцистеина. Вычислите массовую долю селена в селеноцистеине:



**Вариант 12**

1. Вычислите степень окисления серы в сероводороде и сульфане, состав которого описывается формулой  $\text{H}_2\text{S}_2$ . Как изменяется степень окисления серы в сульфидах водорода (увеличивается или уменьшается) при увеличении числа атомов серы в цепи?

2. Закончите уравнение реакции, при помощи которой может быть получена ортотеллуровая кислота, и вычислите ее ЭДС:



3. В состав питательного раствора Кнопа для выращивания овощей в защищенном грунте (см. прил. 2) входит сульфат железа. Вычислите, какую массу (г) железного купороса нужно взять для приготовления 500 л такого раствора.

4. Напишите химический символ элемента, для которого невозможна гибридизация с участием  $d$ -орбиталей.

5. Напишите химические символы элементов VIA-подгруппы, высшая степень окисления которых отличается от +6.

**Вариант 13**

1. При электролитической диссоциации пероксида водорода образуется гидропероксид-ион. Напишите уравнение полуреакции окисления этого иона в щелочной среде и вычислите молярную массу эквивалента пероксида водорода, если он играет роль восстановителя в щелочной среде.

2. Вычислите ЭДС реакции, которая протекает при окислении сероводорода серными бактериями, обитающими в почве:



3. Алюмокалиевые квасцы применяют для водоочистки. Какова реакция водного раствора этого кристаллогидрата? Напишите химическую формулу катиона, по которому протекает гидролиз этого двойного сульфата.

4. Частицы с неспаренными электронами на внешних энергетических подуровнях называют радикалами. Изучите рис. 20.1 учебника и решите, можно ли молекулу диоксида азота назвать бирадикалом, т.е. имеются ли в ней два неспаренных электрона.

5. Со сколькими атомами серы связан каждый атом железа в ферредоксинах?

**Вариант 14**

1. В почвенных условиях элементарная сера легко окисляется. При этом в качестве промежуточного продукта окисления образуются тиосульфат-ионы. Напишите уравнение полуреакции окисления серы до тиосульфат-иона и вычислите молярную массу эквивалента серы.

2. Закончите уравнение реакции, при помощи которой может быть получена селеновая кислота, и вычислите ее ЭДС:



3. Для обесцвечивания волос используют 6%-й раствор пероксида водорода. Вычислите молярную концентрацию этого раствора, если его плотность равна 1,02 г/мл.

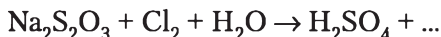
4. Какую геометрическую форму имеет гидросульфат-ион?

5. Какую структуру белков (первичную, вторичную, третичную или четвертичную) создают дисульфидные мостики? Напишите графическую формулу дисульфидного мостика.

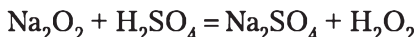
**Вариант 15**

1. Вычислите молярную массу эквивалента диоксида натрия в реакции окисления натрия до пероксида натрия.

2. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в молекулярной форме и вычислите ее ЭДС:



3. Вычислите массу (г) пероксида водорода, которую можно получить при взаимодействии 45 г пероксида натрия и 250 мл 20%-й серной кислоты плотностью 1,073 г/мл в результате реакции



4. Какую геометрическую форму имеет тиосульфат-ион?

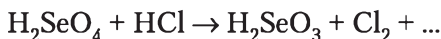
5. Напишите химическую формулу азотного удобрения, которое является солью серной кислоты.

**Вариант 16**

1. Напишите уравнение реакции, происходящей при кипячении тонкоизмельченной серы в растворе сульфита натрия, и вычислите молярную массу эквивалента серы в этой окислительно-восстановительной реакции.

2. Закончите уравнение реакции методом полуреакций и вычислите ее ЭДС:





3. Сера не растворяется в воде и не смачивается ею. Для получения смачивающегося порошка серы к нему добавляют эмульгаторы и смачиватели. Массовая доля элементной серы в смачивающемся порошке составляет 90%. Какую массу 0,5%-й суспензии серы, которую используют для борьбы с мучнистой росой и паршой яблони, можно получить из 1 кг смачивающегося порошка?

4. На сколько градусов угол  $\text{OOO}$  в молекуле озона больше, чем в озонид-ионе, входящем в состав озонида калия?

5. Справедливо ли утверждение: «Анионы кислородсодержащих кислот (оксоанионы) могут быть как монодентатными, так и бидентатными О-донорными лигандами»?

### Вариант 17

1. Напишите уравнение реакции взаимодействия концентрированной серной кислоты с бромоводородом и вычислите молярную массу эквивалента окислителя.

2. Напишите уравнение реакции окисления селеноводорода кислородом, которая происходит во влажном воздухе, и вычислите ее ЭДС

3. Вычислите молярную концентрацию диоксида серы в 10%-м водном растворе этого газа. Плотность раствора при  $15^\circ\text{C}$  составляет 1,052 г/мл.

4. Справедливо ли утверждение: «В тиосульфат-ионе прочность связи  $\text{S} \text{---} \text{S}$  меньше прочности связи  $\text{S} \text{---} \text{O}$ »?

5. С каким элементом кислород образует наиболее прочные одинарные связи в функциональных группах биомолекул?

### Вариант 18

1. Напишите уравнение реакции окисления тиосульфата натрия элементарным иодом и вычислите молярную массу эквивалента восстановителя.

2. Озон растворяется в воде лучше, чем кислород: в 1 л воды при  $0^\circ\text{C}$  растворяется 0,49 л газообразного озона. Вычислите массовую долю (%) озона в таком растворе. Плотность воды при этой температуре равна 0,99987 г/мл.

3. Предельно допустимая концентрация (ПДК) диоксида серы в атмосферном воздухе составляет 0,5 мг/м<sup>3</sup>. Вычислите объемную долю (%) диоксида серы в воздухе, содержание диоксида серы в котором равно ПДК.



4. Какова геометрическая форма молекулы тиоциановой кислоты?

5. В реакции фотосинтеза участвуют два соединения кислорода. Напишите химическую формулу того из них, из которого образуется кислород атмосферы.

### Вариант 19

1. Напишите уравнение реакции окисления селеноводорода кислородом во влажном воздухе и вычислите молярную массу эквивалента восстановителя.

2. Хемолитотрофные микроорганизмы *Tiobacillus thiooxidans* получают энергию в результате окисления серы. Этот процесс можно описать схемой



Пользуясь методом полуреакций, расставьте коэффициенты в уравнении этой реакции и подсчитайте их сумму.

3. Находящийся в атмосфере диоксид серы токсичен для растений. Снижение урожая озимой пшеницы наблюдается, когда объемная доля этого газа в воздухе превышает  $0,28 \text{ млн}^{-1}$ . Вычислите массу (мг) диоксида серы, содержащуюся в  $1 \text{ м}^3$  воздуха с указанным содержанием  $\text{SO}_2$ .

4. Сера хорошо растворяется в дисульфиде углерода (сероуглероде)  $\text{CS}_2$ . Вычислите молярную концентрацию серы  $\text{S}_8$  в 20%-м растворе ее в сероуглероде. Плотность этого раствора при  $15^\circ\text{C}$  равна  $1,37 \text{ г/мл}$ .

5. Озон вызывает раздражение слизистой оболочки глаз человека, если его содержание в воздухе составляет  $0,2 \text{ мг/м}^3$ . Вычислите объемную долю ( $\text{млн}^{-1}$ ) озона в таком воздухе.

### Вариант 20

1. Закончите уравнение реакции и вычислите молярную массу эквивалента окислителя:



2. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение в молекулярной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



3. При вулканизации каучука используют раствор серы в дихлориде дисеры. Сколько миллилитров  $\text{S}_2\text{Cl}_2$  нужно взять для приготовления  $1 \text{ кг}$  насыщенного при  $25^\circ\text{C}$  23,2%-го раствора? Плотность дихлорида дисеры при  $25^\circ\text{C}$  равна  $1,673 \text{ г/мл}$ ,  $t_{\text{пл}} = -82^\circ\text{C}$ ,  $t_{\text{кип}} = 137^\circ\text{C}$ .

4. Каков тип гибридизации электронных орбиталей атома серы в молекуле диоксида серы? Какова геометрическая форма этой молекулы?

5. Кислород малорастворим в воде: в 1 л при 20°C растворяется 31 мл газообразного кислорода. Вычислите молярную концентрацию такого раствора. Изменением объема воды за счет растворения газа пренебречь.

### Вариант 21

1. Напишите уравнение реакции, происходящей при горении сероводорода на воздухе, и вычислите молярную массу эквивалента восстановителя.

2. Закончите уравнение реакции методом полуреакций и вычислите ее ЭДС:



3. Массовая доля  $\text{H}_2\text{SO}_4$  в контактной серной кислоте составляет 94%, ее плотность равна 1,831 г/мл. Вычислите молярную концентрацию эквивалента серной кислоты в этом растворе при условии ее полной нейтрализации.

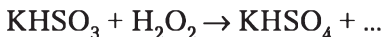
4. Каков тип гибридизации электронных орбиталей атома кислорода в оксиде бериллия, в котором каждый атом бериллия окружен четырьмя атомами кислорода?

5. Ранним признаком отравления селеном служит чесночный запах изо рта, обусловленный диметилселенидом  $\text{H}_3\text{C}-\text{Se}-\text{CH}_3$ . Вычислите массовую долю селена в этом соединении.

### Вариант 22

1. Вычислите молярную массу эквивалента диоксида серы в реакции восстановления его до пероксид-иона.

2. Закончите уравнение реакции методом полуреакций и вычислите молярную массу эквивалента восстановителя:



3. Цинковый купорос используют в качестве цинкового микроудобрения. Вычислите массовую долю сульфата цинка в этом кристаллогидрате.

4. Каков тип гибридизации электронных орбиталей атома кислорода в кристаллической алмазоподобной структуре воды?

5. При сжигании угля и нефти содержащиеся в них соединения серы окисляются до диоксида и триоксида серы. В атмосфере диоксид постепенно окисляется до триоксида. Триоксид серы взаимодействует с парами воды, образуя

туман, состоящий из крошечных капель серной кислоты. Серная кислота разрушает многие строительные материалы, в том числе известняковые. Напишите уравнение реакции взаимодействия серной кислоты с известняком и вычислите сумму стехиометрических коэффициентов.

### Вариант 23

1. Напишите уравнение полуреакции восстановления пероксида водорода в кислой среде и вычислите молярную массу эквивалента этого вещества.

2. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции получения селенистой кислоты и вычислите ее ЭДС:



3. Вычислите массу (г) воды, которая выделяется при полной дегидратации 142,2 г алюмокалиевых квасцов. Вычислите, какую массу (г) «жженных» квасцов можно получить в результате этой реакции.

4. Пользуясь рис. 20.1 учебника, вычислите порядок связи в молекуле диоксида серы.

5. Для приготовления варенья в кондитерском производстве наряду со свежими и замороженными плодами и ягодами используют также сульфитированные, т.е. консервированные диоксидом серы. Массовая доля диоксида серы в готовом варенье не должна превышать 0,01%. В процессе определения содержания диоксида серы в консервах его переводят в газообразное состояние. Вычислите, какой объем (мл; н.у.) сернистого газа может выделиться из 25 г варенья, содержащего 0,01%  $\text{SO}_2$ .

### Вариант 24

1. В почвенных условиях элементная сера легко окисляется. Конечным продуктом окисления при этом являются сульфат-ионы. Напишите уравнение полуреакции окисления серы до сульфат-иона и вычислите молярную массу эквивалента серы.

2. Закончите уравнение реакции методом полуреакций и вычислите ее ЭДС:



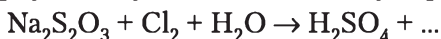
3. В медицине используют 30%-й раствор пероксида водорода (пергидроль). Вычислите молярную концентрацию этого раствора, если его плотность равна 1,112 г/мл.

4. Каков тип гибридизации электронных орбиталей атома серы в молекуле тетрафторида серы? Какова геометрическая форма этой молекулы?

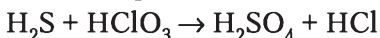
5. В винах, поступающих в продажу, содержание диоксида серы не должно превышать 200 мг/л. Какой массовой доле диоксида серы соответствует такое содержание этого вещества, если плотность вина равна 0,990 г/мл?

### Вариант 25

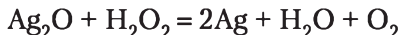
1. При отравлении хлором в качестве антидота используют тиосульфат натрия. Закончите уравнение реакции и вычислите молярную массу эквивалента тиосульфата натрия:



2. Пользуясь методом полуреакций, расставьте коэффициенты и вычислите ЭДС реакции:



3. Пероксид водорода преимущественно проявляет окислительные свойства, однако в некоторых реакциях он может служить восстановителем. Например, он может восстанавливать оксид серебра:



Сколько миллилитров 30%-го раствора пероксида водорода плотностью 1,112 г/мл нужно взять для восстановления 62 г оксида серебра?

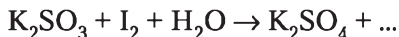
4. Каков тип гибридизации электронных орбиталей атома серы в молекуле триоксида серы? Какова геометрическая форма этой молекулы?

5. Для угнетения деятельности микроорганизмов и подавления активности окислительных ферментов осуществляют сульфитацию мезги, сусла и вина, т.е. вводят в них газообразный или жидкий диоксид серы. При сульфитации сусла, полученного из здорового винограда, содержание введенного диоксида серы не должно превышать 120 мг/л. Какой молярной концентрации диоксида серы соответствует такое его содержание в вине?

### Вариант 26

1. В присутствии катализаторов, при нагревании и освещении протекает реакция диспропорционирования пероксида водорода, в которой он играет роль как окислителя, так и восстановителя. Напишите уравнение этой реакции и вычислите молярную массу эквивалента пероксида водорода как окислителя.

2. Для определения содержания диоксида серы в варенье, приготовленном из плодов и ягод, законсервированных методом сульфитации, варенье сначала обрабатывают гидроксидом калия, а затем проводят реакцию с иодом. Закончите уравнение реакции методом полуреакций и вычислите ее ЭДС:



3. Сера практически нерастворима в воде и не смачивается ею. При изготовлении препаратов серы, обладающих фунгицидными свойствами, в них добавляют эмульгаторы и смачиватели, которые обеспечивают смачиваемость частиц серы водой. Один из таких препаратов серы — сульфатид содержит 35% элементной серы. Вычислите массу (г) этого препарата, которую нужно взять для получения 5 кг суспензии, в которой массовая доля серы составляет 0,4%.

4. Каков тип гибридизации электронных орбиталей атома кислорода в кварце?

5. Вычислите массовую долю (%) серы в гипсе Кунгурского месторождения, если содержание дигидрата сульфата кальция в нем составляет 86%.

### Вариант 27

1. Напишите уравнение реакции взаимодействия концентрированной серной кислоты с сильным восстановителем — цинком, в результате которой образуется элементная сера, и вычислите молярную массу эквивалента окислителя.

2. Напишите уравнение реакции окисления теллуристого водорода кислородом, которая происходит во влажном воздухе, и вычислите ее ЭДС.

3. В 1 л виноградного сусла, приготовленного по шампанскому способу, после сульфитации содержится 2,8 мг кислорода. Вычислите молярную концентрацию кислорода в таком сусле.

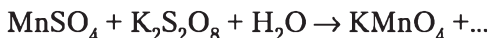
4. Определите тип гибридизации электронных орбиталей атома серы в молекуле  $\text{S}_8$ , учитывая, что валентный угол равен  $108^\circ$ , т.е. мало отличается от  $109,5^\circ$ .

5. Напишите химическую формулу высшего оксида азота, который невозможно получить прямым синтезом из элементов.

### Вариант 28

1. В атмосфере диоксид серы может окисляться озоном. Напишите уравнение этой реакции и вычислите молярную массу эквивалента восстановителя.

2. Закончите уравнение реакции окисления сульфата марганца одним из наиболее сильных окислителей — пероксодисульфатом калия методом полуреакций и вычислите ее ЭДС:



3. В соответствии с нормативами Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) содержание селена в питьевой воде не должно превышать 0,01 мг/л. Какой должна быть молярная концентрация селенит-ионов в воде, чтобы она соответствовала нормативам ВОЗ?

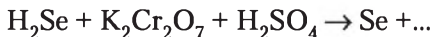
4. На рис. 20.1 учебника приведено распределение электронов в молекуле дикислорода в основном, энергетически наиболее выгодном состоянии. В этом состоянии два электрона, занимающие разрыхляющие  $\pi$ -орбитали, находятся на разных орбиталях и имеют параллельные спины. При возбуждении молекулы  $\text{O}_2$  она может переходить в менее энергетически выгодное, неустойчивое синглетное состояние, в котором оба электрона, находящиеся на разрыхляющих  $\pi$ -орбиталях, образуют электронную пару и занимают одну  $\pi$ -орбиталь. Синглетный кислород является одним из биологически вредных компонентов, образующихся в смоге. Вычислите сумму спиновых квантовых чисел в описанном синглетном состоянии молекулы  $\text{O}_2$ .

5. Вычислите массовую долю (%) серы в пирите.

### Вариант 29

1. При электролитической диссоциации пероксида водорода образуется гидропероксид-ион. Напишите уравнение полуреакции восстановления этого иона в щелочной среде и вычислите молярную массу эквивалента пероксида водорода, если он играет роль окислителя в щелочной среде.

2. Закончите уравнение реакции методом полуреакций и вычислите ее ЭДС:



3. Лучший растворитель серы — дисульфид углерода (сероуглерод)  $\text{CS}_2$ . В 100 г дисульфида углерода при 25°C растворяется 50,4 г ромбической серы. Вычислите массовую долю (%) серы в этом растворе.

4. Какую геометрическую форму имеет гидросульфит-ион в кристаллическом гидросульфите калия?

5. Строго говоря, оксидами следует называть только те соединения элементов с кислородом, в которых его

электроотрицательность больше, чем у связанного с ним элемента. Учитывая это, как следует назвать соединение  $\text{OF}_2$ ?

### Вариант 30

1. Напишите уравнение реакции, происходящей при горении сероводорода на воздухе, и вычислите молярную массу эквивалента окислителя.

2. Закончите уравнение реакции методом полуреакций и вычислите ее ЭДС:



3. Для приготовления дезинфицирующих растворов используют таблетки, содержащие гидроперит — комплексное соединение пероксида водорода с мочевиной  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}_2$ . Вычислите массу (г) пероксида водорода, содержащегося в одной таблетке гидроперита, если ее достаточно для получения 50 мл 1%-го раствора плотностью 1,002 г/мл.

4. Какую геометрическую форму имеет молекула серной кислоты?

5. Каким образом изменяются (усиливаются или ослабевают) кислотные свойства высших оксидов *s*- и *p*-элементов в третьем периоде периодической системы Д. И. Менделеева?

## Глава 16

# Химия галогенов

---

В результате успешного освоения материала этой главы студент должен:

- **знать:** химические свойства важнейших соединений галогенов;
- **уметь:** составлять уравнения окислительно-восстановительных реакций с участием соединений галогенов;
- **владеть:** представлениями о структуре важнейших соединений галогенов и их значении в природе и сельском хозяйстве.

**Изучите:** гл. 21 учебника.

**Повторите:** параграф 6, 2 гл. 6, параграфы 12.2 и 12.3 гл. 12, тему «Галогениды» параграфа 19.4 гл. 19 учебника.

---

### 16.1. Вопросы для подготовки к коллоквиуму

1. Как изменяются распространенность в природе, неметаллические свойства, сродство к электрону и электроотрицательность галогенов с ростом порядкового номера элементов VIIA-подгруппы?

2. Какой из галогенов является сильнейшим окислителем среди простых веществ?

3. Чем можно объяснить низкую энергию связи F—F?

4. Какие равновесия устанавливаются в водном растворе фтороводорода?

5. Каково строение гидродифторид-иона?

6. Какие степени окисления проявляет хлор в кислородсодержащих кислотах?

7. Как называются кислородсодержащие кислоты хлора и их соли?

8. Как меняется сила кислот и их устойчивость в ряду  $\text{HOCl} - \text{HClO}_2 - \text{HClO}_3 - \text{HClO}_4$ ?

9. Как получают хлорную известь?

10. Какие соли хлорноватой кислоты находят применение в сельском хозяйстве?

11. Как изменяется константа равновесия реакции диспропорционирования галогена в водном растворе в ряду хлор — бром — йод?



12. Какая из кислородсодержащих кислот иода является пятиосновной?
13. Какой из галогенов имеет максимальную массовую долю в сухой биомассе растений?
14. В виде какого иона растения усваивают хлор из почвенных растворов?
15. Какую роль играет фтор в организме человека?
16. Какое применение в медицине находят соединения брома?
17. Какую роль в жизнедеятельности человека играет иод?

## 16.2. Примеры решения задач

В этой главе представлены задачи, которые позволяют студентам познакомиться с важнейшими для живой природы соединениями и свойствами галогенов, а также обобщить и повторить весь ранее изложенный материал. Галогены в природе присутствуют главным образом в форме однозарядных анионов, о которых идет речь во многих задачах этой главы. При решении этих задач нужно пользоваться уравнениями для расчета состава растворов и массовой доли элемента в соединении. Состав минералов, содержащих галогенид-ионы, известен студентам по предыдущим главам, что предполагает повторение ранее изученного. Химические свойства хлора, брома и иода существенным образом определяются их участием в окислительно-восстановительных реакциях, которые рассматриваются практически во всех вариантах заданий этой главы, что позволяет освежить навыки составления уравнений реакций этого типа, расчета электродвижущей силы реакций и молярных масс эквивалентов окислителей и восстановителей. В задачах нашла отражение также и способность галогенид-ионов играть роль лигандов в комплексных соединениях. Обобщающий характер имеют также задачи на определение типа гибридизации центрального атома и геометрической конфигурации молекул и ионов, в состав которых входят галогены.

### Пример 16.1.

**Задача.** Вычислите молярную концентрацию фторид-ионов в воде, при превышении которой у людей развивается фтороз.

**Решение.** В учебнике (с. 511) сказано, что опасное заболевание — фтороз — развивается у людей, если содержание

фторид-ионов в воде выше 8 мг/л. Для пересчета этого содержания в молярную концентрацию воспользуемся уравнением (6.1) из учебника:

$$c(\text{F}^-) = \frac{m(\text{F}^-)}{M(\text{F}^-) \cdot 1000} 1000 = \frac{8 \cdot 10^{-3}}{19 \cdot 1000} 1000 = 4,2 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л.}$$

Ответ.  $4,2 \cdot 10^{-4}$  моль/л.

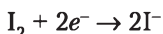
### Пример 16.2.

**Задача.** В кондитерской промышленности для определения массовой доли диоксида серы в кукурузном и картофельном крахмале применяют иодометрический анализ, в котором используют 0,02 н. раствор иода. Вычислите массу иода (г), содержащегося в 100 мл такого раствора.

**Решение.**

$c(1/2\text{I}_2) = 0,02 \text{ моль/л}$ $m(\text{I}_2) = ?$		Реакция, на которой основано определение диоксида серы, описывается уравнением $\text{I}_2 + \text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{HI} + \text{H}_2\text{SO}_4$
---	--	---

Из этого уравнения очевидно, что иод играет роль окислителя и каждая молекула иода присоединяет два электрона:



следовательно, фактор эквивалентности для  $\text{I}_2$  в этой окислительно-восстановительной реакции равен  $1/2$ , т.е. единице, деленной на число электронов, которые принимает окислитель.

Чтобы найти искомую массу  $\text{I}_2$ , уравнение для расчета молярной концентрации эквивалента

$$c(1/2\text{I}_2) = \frac{m(\text{I}_2)}{f_{\text{экв}}(\text{I}_2)M(\text{I}_2)V} 1000$$

решаем относительно  $m(\text{I}_2)$ :

$$m(\text{I}_2) = \frac{c(1/2\text{I}_2)f_{\text{экв}}(\text{I}_2)M(\text{I}_2)V}{1000}.$$

Подставляя числовые значения, получаем

$$m(\text{I}_2) = \frac{0,02 \cdot 1/2 \cdot 254 \cdot 100}{1000} = 0,254 \text{ г.}$$

Ответ. 0,254 г.

### Пример 16.3.

**Задача.** При взаимодействии фтора с водой образовалось 11,2 л кислорода, объем которого измерен при н.у. Вычислите рН полученного в результате этой реакции раствора фтороводородной

кислоты, если его объем составляет 10 л. (Образованием других возможных продуктов реакции: пероксида водорода, озона, дифторида кислорода пренебречь.)

*Решение.*

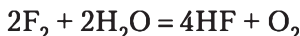
$$\begin{array}{l} V(\text{CO}_2) = 11,2 \text{ л} \\ V(\text{раствора}) = 1 \text{ л} \end{array}$$

$$\text{pH} = ?$$

Пользуясь следствием из закона Авогадро, вычисляем количество кислорода, образовавшегося в результате реакции:

$$n(\text{O}_2) = \frac{11,2}{22,4} = 0,5 \text{ моль.}$$

В соответствии с упрощенным уравнением реакции



образование 1 моль кислорода сопровождается выделением 4 моль фтороводорода. Следовательно,

$$n(\text{HF}) = 4n(\text{O}_2) = 4 \cdot 0,5 = 2 \text{ моль.}$$

Растворяясь в воде, фтороводород образует слабую фтороводородную кислоту, концентрация которой равна

$$c(\text{HF}) = \frac{n(\text{HF})}{V(\text{раствора})} 1000 = \frac{2}{10\,000} 1000 = 0,2 \text{ моль/л.}$$

Рассчитываем концентрацию катионов водорода в растворе слабой фтороводородной кислоты:

$$[\text{H}^+] = \sqrt{K_{\text{к}} \cdot c_{\text{к}}} = \sqrt{6,61 \cdot 10^{-4} \cdot 0,2} = 1,15 \cdot 10^{-2} \text{ моль/л.}$$

Вычисляем pH:

$$\text{pH} = -\lg(1,15 \cdot 10^{-2}) = 2 - \lg 1,15 = 2 - 0,06 = 1,94.$$

*Ответ.* 1,94.

## 16.3. Индивидуальные задания

### Вариант 1

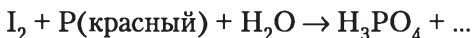
1. Вычислите массовую долю фтора во фторapatите, который входит в состав зубной эмали млекопитающих.

2. Все изотопы астата радиоактивны и быстро распадаются, поэтому изучать химические свойства этого элемента очень сложно. Масса самого большого полученного образца астата составила 0,05 мкг. Какое количество (моль) атомов астата содержалось в этом образце?

3. Напишите уравнение реакции получения хлорной извести и вычислите молярную массу эквивалента окислителя.

4. Для получения концентрированного раствора иодоводорода в лаборатории можно использовать реакцию между

иодом, красным фосфором и водой. Пользуясь методом полуреакций, закончите в молекулярной форме уравнение реакции и вычислите ее ЭДС:



5. В 100 г сухого вещества наземных растений содержится в среднем 200 мг хлора. Вычислите массовую долю (%) хлора в сухом веществе наземных растений.

### Вариант 2

1. Бурые морские водоросли семейства ламинария накапливают иод из морской воды. Какое количество вещества (моль)  $\text{I}_2$  можно получить из 1 кг ламинарии, если массовая доля этого элемента в сухой массе ламинарии составляет 0,45%?

2. Вычислите рН желудочного сока человека, если концентрация свободной хлороводородной кислоты в нем составляет 0,02 моль/л. Отличием активности от концентрации пренебречь.

3. Насыщенные водные растворы иода и хлора называют соответственно иодной и хлорной водой. Водный раствор иода обесцвечивается при добавлении избытка хлорной воды в результате образования иодноватой кислоты. Пользуясь методом полуреакций, составьте уравнение, подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов и вычислите ЭДС реакции.

4. Напишите химическую формулу той из названных ниже солей, водный раствор которой имеет щелочную реакцию: перхлорат натрия, хлорид натрия, хлорид аммония, гипохлорит натрия.

5. Напишите химический символ галогена, имеющего самый большой кларк в земной коре.

### Вариант 3

1. Бромид натрия восстанавливает равновесие между процессами возбуждения и торможения при повышенной возбудимости центральной нервной системы. Какую массу (г) этой соли получает пациент с 10 мл 10%-го раствора плотностью 1,08 г/мл?

2. Напишите уравнение реакции растворения железа в растворе хлороводородной кислоты, учитывая, что одним из продуктов реакции является хлорид гексаакважелеза(II), и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов. Какую роль играют в этом комплексном соединении хлорид-ионы?

3. Вычислите рН 0,02 М раствора хлорной кислоты. Коэффициент активности равен 0,885.

4. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в молекулярной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



5. В каком из названных ниже фторидов элементов второго периода имеется центральный атом с  $sp^2$ -гибридизацией электронных орбиталей: фторид бора, тетрафторид углерода, трифторид азота, дифторид кислорода? Напишите химическую формулу этого фторида.

#### Вариант 4

1. Для профилактики заболеваний, связанных с дефицитом иода, в соответствии с постановлением Главного санитарного врача России в 1 г йодированной поваренной соли должно содержаться 40 мкг иода. Вычислите массу (г) иодата калия, которая должна содержаться в 1 кг поваренной соли, чтобы она соответствовала этому постановлению.

2. В медицине широко применяют изотонический раствор хлорида натрия, в котором массовая доля соли составляет 0,9%. Какая масса (г) хлорида натрия содержится во флаконе этого раствора вместимостью 200 мл? Плотность раствора — 1005 г/мл.

3. При обработке 95 г плавленого шпата, содержащего 8% примесей, концентрированной серной кислотой, взятой в избытке, получили газообразный фтороводород, который растворили в воде. Объем полученной фтороводородной кислоты — 100 мл, вычислите ее молярную концентрацию.

4. Насыщенные растворы хлора и брома в воде называют соответственно хлорной и бромной водой. При добавлении к бромной воде избытка хлорной воды нагретый раствор обесцвечивается в результате образования бромноватой кислоты. Пользуясь методом полуреакций, напишите уравнение реакции в молекулярной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов.

5. Как изменяется (увеличивается или уменьшается) число несвязывающих электронных пар у атома хлора в ряду кислот: хлорноватистая, хлористая, хлорноватая, хлорная?

#### Вариант 5

1. Хлорид-ионы — главные анионы плазмы крови: в 100 мл плазмы крови человека содержится 690 мг хлорид-ионов.

Вычислите молярную концентрацию хлорид-ионов в плазме крови.

2. Какой объем (л; н.у.) газообразного хлора можно получить при действии концентрированной хлороводородной кислоты, взятой в избытке, на 21,74 г диоксида марганца?

3. Вычислите рН 0,01 М раствора иодоводородной кислоты. Коэффициент активности равен 0,908.

4. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции компрпорционирования в молекулярной форме, подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов и вычислите ЭДС:

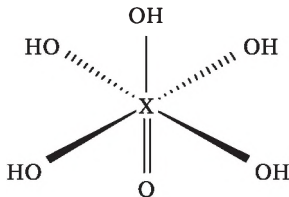


5. Определите тип гибридизации электронных орбиталей центрального атома и геометрическую форму гексафторосиликат-иона.

### Вариант 6

1. Вычислите массовую долю (%) хлора в галите.

2. Напишите название кислородсодержащей кислоты, молекула которой имеет изображенную ниже геометрическую форму. (Буквой X обозначен атом галогена.)



3. Какой объем (л; н. у.) газообразного фтороводорода, не содержащего паров воды, можно получить при термическом разложении 39 г гидрофторида калия?

4. Вычислите рН 0,02 М раствора бромоводородной кислоты. Коэффициент активности равен 0,879.

5. Во сколько раз содержание хлора в годовом речном стоке превышает содержание брома?

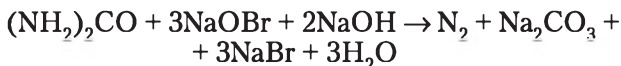
### Вариант 7

1. Хлорид-ионы — главные анионы крови. Вычислите массовую долю хлорид-ионов в крови человека, если в 100 мл ее содержится 500 мг  $\text{Cl}^-$  (плотность крови принять равной 1,05 г/мл).

2. Вычислите массовую долю хлора в перхлорате аммония, который используют в качестве окислителя в твердом

ракетном топливе, применяемом для запусков космических кораблей многоразового использования «Шаттл».

3. Вычислите молярную массу эквивалента окислителя в реакции, которую используют для количественного определения мочевины:



4. При хранении иодоводородная кислота окрашивается в бурый цвет в результате окисления кислородом. Напишите уравнение реакции, обуславливающей появление окраски, и вычислите молярную массу эквивалента восстановителя.

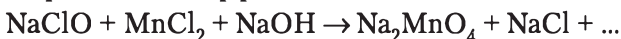
5. Если в 1 л питьевой воды содержится менее 1 мг фторид-ионов, то у людей развивается кариес зубов. Какой молярной концентрации соответствует такое содержание фторид-ионов?

### Вариант 8

1. По содержанию в водах Мирового океана хлорид-ионы занимают первое место среди всех анионов. Их массовая доля составляет  $18\,980 \text{ млн}^{-1}$ . Вычислите массовую долю хлорид-ионов в океанической воде в промилле (‰).

2. Какую массу (г) плавикового шпата, содержащего 90% фторида кальция, нужно взять для получения 44,8 л (н.у.) газообразного фтороводорода?

3. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в молекулярной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



4. Напишите в сокращенной ионной форме уравнение реакции гидролиза гипобромита натрия (соль бромноватистой кислоты) и определите реакцию среды (кислая или щелочная) в растворе этой соли.

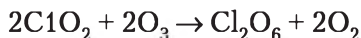
5. Какие степени окисления проявляет хлор в оксидах, молекулы которых имеют угловую форму?

### Вариант 9

1. Для профилактики заболеваний, связанных с дефицитом иода, в соответствии с постановлением Главного санитарного врача России в 1 г йодированной поваренной соли должно содержаться 40 мкг иода. Вычислите количество (моль) йодида калия, которое должно содержаться в 1 кг поваренной соли, чтобы она соответствовала этому постановлению.

2. Пользуясь данными табл. 19.3 учебника, определите, какой из тригалогенидов азота термодинамически устойчив. Напишите его химическую формулу.

3. Для диоксида хлора характерны свойства сильного окислителя, тем не менее он окисляется более сильным окислителем — озоном:



Вычислите молярную массу эквивалента восстановителя в этой реакции.

4. В соответствии с правилами ИЮПАК составьте название комплексного соединения  $\text{Cs}_2[\text{CoCl}_4]$ . Напишите химическую формулу лиганда.

5. Во сколько раз содержание хлора в сухой биомассе превышает содержание фтора?

### Вариант 10

1. В промышленности бром получают путем окисления бромид-ионов хлором. Составьте уравнение этой реакции и вычислите ее ЭДС.

2. Какую степень окисления проявляет хлор в оксиде, который представляет собой ярко-красную жидкость?

3. Вычислите рН 0,2 н. раствора хлорной кислоты. Коэффициент активности равен 0,778.

4. Иод мало растворим в воде, значительно лучше он растворяется в органических растворителях. Например, в 100 г бензола при 25°C растворяется 16,4 г иода. Вычислите массовую долю (%) иода в этом растворе.

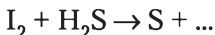
5. Напишите химическую формулу фторида элемента второго периода, молекула которого имеет форму тетраэдра.

### Вариант 11

1. Вычислите массовую долю хлора в сильвине.

2. Вычислите рН 0,6 М раствора бромоводородной кислоты. Коэффициент активности равен 0,801.

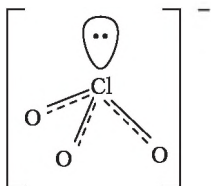
3. Для получения иодоводородной кислоты в лаборатории можно использовать реакцию между иодом и сероводородом. Пользуясь методом полуреакций, закончите в молекулярной форме уравнение реакции и вычислите ее ЭДС:



4. В соответствии с правилами ИЮПАК составьте название комплексного соединения  $\text{Na}_2[\text{SiF}_6]$ . Напишите химическую формулу лиганда.



5. Напишите название аниона кислородсодержащей кислоты хлора, структурная формула которого приведена ниже:



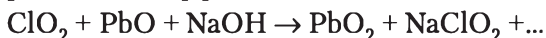
### Вариант 12

1. На упаковке поваренной соли «Экстра» указано, что массовая доля хлорида натрия в составляет 99,7%. Вычислите массу (г) хлорид-ионов, содержащихся в 1 кг такой поваренной соли.

2. Пользуясь таблицей стандартных электродных потенциалов, определите, какой из анионов: иодид-ион или иодат-ион может быть окислен кислородом в кислой среде. Напишите химическую формулу аниона, который не окисляется кислородом.

3. Для мокрого озонления растений по методу Гинзбург приготовили смесь 100 мл 96%-й серной кислоты плотностью 1,84 г/мл и 10 мл 70%-й хлорной кислоты плотностью 1,68 г/мл. Вычислите молярную концентрацию хлорной кислоты в полученном растворе. Изменением объема раствора при смешении пренебречь.

4. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в молекулярной форме, подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов и вычислите ЭДС:



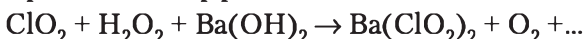
5. Вычислите массовую долю (%) фтора в криолите.

### Вариант 13

1. Какую массу (г) хлорида натрия можно получить из 1 л рапы озера Баскунчак, если ее плотность составляет 1,205 г/мл, а массовая доля хлорида натрия в ней равна 14,2%?

2. Вычислите массу (г) пентаоксида диода, которую можно получить при обезвоживании 44 г иодноватой кислоты.

3. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в молекулярной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:

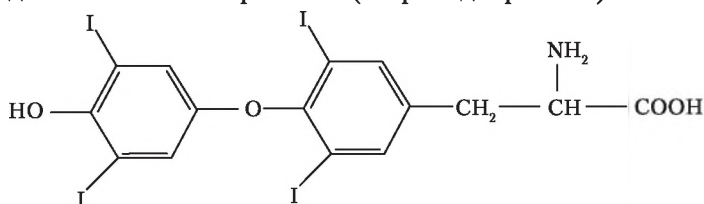


4. В соответствии с правилами ИЮПАК составьте название комплексного соединения  $K_2[PtCl_6]$ . Напишите химическую формулу лиганда.

5. В каком из названных ниже фторидов элементов третьего периода имеется центральный атом с  $sp^3d$ -гибридизацией электронных орбиталей: тетрафторид кремния, трифторид фосфора, трифторид хлора, дифторид серы? Напишите химическую формулу этого фторида. Сколько несвязывающих электронных пар имеет центральный атом в молекуле этого вещества?

### Вариант 14

1. Вычислите массовую долю (%) иода в гормоне щитовидной железы — тироксине (тетраиодтиронине):



2. Перхлораты большинства металлов хорошо растворимы в воде, например в 100 г воды при  $25^\circ\text{C}$  растворяется 211 г перхлората натрия. Исключение составляет перхлорат калия: его растворимость равна 2,07 г в 100 г воды при той же температуре. Вычислите, во сколько раз молярная концентрация перхлората натрия превышает молярную концентрацию перхлората калия.

3. Пользуясь методом полуреакций, составьте в молекулярной форме уравнение протекающей в кислой среде реакции между броматом натрия и молекулярным иодом, в результате которой образуются иодат натрия и молекулярный бром, подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов и вычислите ЭДС.

4. В соответствии с правилами ИЮПАК составьте название комплексного соединения  $K_2[TeBr_6]$ . Напишите химическую формулу лиганда.

5. Территории Московской, Тверской и Рязанской областей относятся к районам с повышенным содержанием фторид-ионов в питьевой воде. Оно может достигать 4,4 мг/л. Вычислите соответствующую этому содержанию молярную концентрацию фторид-ионов. Плотность воды принять равной 1 г/мл.

**Вариант 15**

1. Хлороводород очень хорошо растворим в воде: массовая доля этого вещества в насыщенном растворе при 20°C превышает 40%. Вычислите молярную концентрацию 40%-й соляной кислоты плотностью 1,198 г/мл.

2. Какую массу гептаоксида дихлора можно получить путем осторожной дегидратации 86 мл 70%-го раствора хлорной кислоты плотностью 1,67 г/мл?

3. Получение иода в промышленности основано на окислении иодид-ионов хлором. Составьте уравнение этой реакции методом полуреакций и вычислите ее ЭДС.

4. Долгое время не удавалось получить бромную кислоту  $\text{HBrO}_4$  и ее соли перброматы. В настоящее время эта проблема решена, эти вещества получены и изучены их свойства. Установлено, что пербромат-ион имеет такую же геометрическую форму, что и перхлорат-ион. Какова геометрическая форма пербромат-иона?

5. Напишите химическую формулу галогеноводорода, между молекулами которого в газообразном, жидком и твердом состояниях существуют водородные связи с энергией около 40 кДж/моль.

**Вариант 16**

1. Вычислите массовую долю хлора в карналлите.

2. При получении пентаоксида диода из иодноватой кислоты конец обезвоживания исходного вещества определяют по убыли массы. Завершено ли обезвоживание, если убыль массы составляет 5,11%?

3. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в молекулярной форме, подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов и вычислите ЭДС:



4. В соответствии с правилами ИЮПАК составьте название комплексного соединения  $\text{K}_2[\text{SnBr}_6]$ . Напишите химическую формулу лиганда.

5. Какой из трех галогенов (фтор, хлор или бром) имеет наименьшую энергию разрыва связи  $\text{Г}-\text{Г}$ , где Г — атом галогена? Напишите химическую формулу молекулы этого галогена.

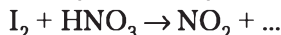
**Вариант 17**

1. Вычислите массовую долю (%) хлорид-ионов в почвенном растворе чернозема обыкновенного, если молярная

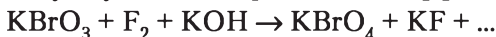
концентрация их составляет 0,2 ммоль/л. Плотность раствора принять равной 1 г/мл.

2. Вычислите рН 2%-го раствора хлорноватой кислоты плотностью 1,01 г/мл. Отличием активности от концентрации пренебречь.

3. Пользуясь методом полуреакций, закончите в молекулярной форме уравнение реакции, при помощи которой можно получить иодноватую кислоту, и вычислите ее ЭДС:



4. Долгое время не удавалось получить бромную кислоту  $\text{HBrO}_4$  и ее соли перброматы. В настоящее время эта проблема решена, перброматы получают окислением броматов (солей бромноватой кислоты) фтором в щелочных растворах. Пользуясь методом полуреакций, закончите в молекулярной форме уравнение окислительно-восстановительной реакции и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



5. Напишите химическую формулу сильнейшего окислителя среди простых веществ.

### Вариант 18

1. Содержание хлорид-ионов в крови человека и теплокровных животных превышает содержание других анионов. Вычислите молярную концентрацию хлорид-ионов в крови, если их массовая доля составляет 4,8%. Плотность крови принять равной 1,05 г/мл.

2. Раствор объемом 200 мл, полученный при взаимодействии фтора с водой, имеет рН = 1,09. Определите, какой объем (л; н.у.) фтора вступил в реакцию.

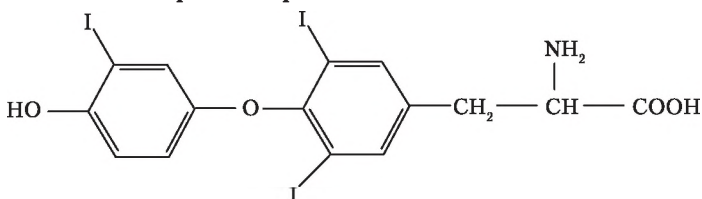
3. Важной характеристикой жиров является иодное число — масса иода, в которой количество вещества (моль) молекулярного иода равно количеству вещества галогена, необходимому для насыщения всех двойных связей, имеющихся в 100 г жира. Часто для определения иодного числа жир обрабатывают раствором брома. Вычислите массу (г) молекулярного брома, вступившего в реакцию со 100 г подсолнечного масла, если иодное число равно 127.

4. В соответствии с правилами ИЮПАК составьте название комплексного соединения  $\text{K}_2[\text{TeI}_6]$ . Напишите химическую формулу лиганда.

5. Вычислите массовую долю хлора в гексагидрате хлората магния, который используют в сельском хозяйстве как дефолиант, десикант, гербицид и фунгицид.

**Вариант 19**

1. Вычислите массовую долю иода в гормоне щитовидной железы — трийодтироне:



2. Хлорид магния хорошо растворим в воде. Пользуясь данными табл. 16.6 учебника, вычислите массу гексагидрата хлорида магния, которую можно получить из 1 кг насыщенного раствора.

3. Большая часть производимого в мире хлората натрия расходуется на получение диоксида хлора, используемого главным образом для отбеливания бумажной массы. Пользуясь методом полуреакций, закончите в молекулярной форме уравнение реакции, при помощи которой получают диоксид хлора, и вычислите ее ЭДС:



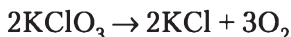
4. В соответствии с правилами ИЮПАК составьте название комплексного соединения  $\text{Cs}_2[\text{CuBr}_4]$ . Напишите химическую формулу лиганда.

5. С каким элементом фтор образует самые прочные связи? Напишите химическую формулу фторида этого элемента.

**Вариант 20**

1. Значительную часть получаемого в промышленности брома расходуют для получения бромметана  $\text{CH}_3\text{Br}$ , который используют в качестве пестицида. Вычислите массовую долю (%) брома в этом соединении.

2. В состав спичек входит хлорат калия. Он служит источником кислорода для горения спички в результате реакции разложения, происходящей в присутствии катализатора ( $\text{MnO}_2$ ):



Вычислите объем кислорода (л; н.у.), который выделяется при разложении 1 моль хлората калия.

3. В кондитерской промышленности для определения редуцирующих (обладающих восстановительными свойствами) сахаров патоки (глюкозы и мальтозы) применяют

иодометрический анализ, в котором в качестве окислителя используют иод. Для приготовления раствора иода 12,7 г кристаллов этого галогена вносят в предварительно приготовленный раствор, содержащий 20 г иодида калия, после полного растворения иода раствор разбавляют дистиллированной водой, так чтобы его объем стал равным 1 л. Вычислите молярную концентрацию эквивалента иода в полученном растворе.

4. В соответствии с правилами ИЮПАК составьте название комплексного соединения  $K_2[PtF_3Cl_3]$ . Напишите химические формулы лигандов.

5. Какую степень окисления проявляет фтор во всех соединениях, за исключением  $F_2$ ?

### Вариант 21

1. Вычислите массовую долю фтора в флюорите — минерале, используемом в промышленности для получения фтора и его соединений.

2. Бром — единственный из неметаллов, находящийся в жидком состоянии при обычных условиях. Какой объем (мл) занимает 1 моль жидкого брома, если его плотность при 25°C равна 3,102 г/мл?

3. В состав жидких отбеливателей входит гипохлорит натрия. Напишите в сокращенной ионной форме уравнение реакции гидролиза этой соли и определите реакцию среды (кислая или щелочная) в ее растворе.

4. Напишите в общем виде уравнение полуреакции восстановления молекул галогенов  $Г_2$  до однозарядных галогенид-ионов  $Г^-$  и рассчитайте фактор эквивалентности галогенов как окислителей в окислительно-восстановительных реакциях.

5. Напишите химическую формулу галогеноводородной кислоты, входящей в состав желудочного сока человека и животных.

### Вариант 22

1. В 100 мл воды при 20°C растворяется 0,729 г хлора. Вычислите массовую долю (‰) хлора в этом растворе, не принимая во внимание химические превращения хлора при взаимодействии с водой. Плотность раствора принять равной 1 г/мл.

2. Хлористая кислота — самая неустойчивая из кислородсодержащих кислот хлора. Она существует только в разбавленных водных растворах. Вычислите pH 0,01 М раствора этой кислоты.

3. Пользуясь методом полуреакций, составьте в молекулярной форме уравнение протекающей в кислой среде реакции между хлоратом натрия и молекулярным иодом, в результате которой образуются иодат натрия и молекулярный хлор, подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов и вычислите ЭДС.

4. В соответствии с правилами ИЮПАК составьте название комплексного соединения  $K[CuBr_2]$ . Напишите химическую формулу лиганда.

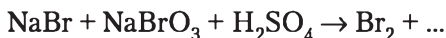
5. Сколько несвязывающих электронных пар находится на валентных энергетических уровнях двух атомов фтора, образующих молекулу этого газа?

### Вариант 23

1. Вычислите молярную концентрацию хлорида натрия в рапе озера Баскунчак, если ее плотность составляет 1,205 г/мл, а массовая доля этой соли в ней равна 14,2%.

2. Элементный бром очень ядовит. Предельно допустимая концентрация паров брома в воздухе рабочих помещений составляет 0,5 мг/м<sup>3</sup>. Вычислите количество вещества (мкмоль) брома, содержащегося в 1 м<sup>3</sup> воздуха при этой концентрации.

3. Пользуясь методом полуреакций, закончите в молекулярной форме уравнение реакции компропорционирования брома, протекающей в кислой среде, и вычислите ее ЭДС:



4. В соответствии с правилами ИЮПАК составьте название комплексного соединения  $Na_3[AlF_6]$ . Напишите химическую формулу лиганда.

5. В каком из названных ниже фторидов элементов третьего периода имеется центральный атом с  $sp^3d^2$ -гибридизацией электронных орбиталей: пентафторид фосфора, дифторид серы, тетрафторид серы, гексафторид серы? Напишите химическую формулу этого фторида.

### Вариант 24

1. Суточная потребность взрослого человека в иоде составляет 150 мкг. В 100 мл 5%-го спиртового раствора иода содержится 5 г иода. Объем одной капли равен примерно 0,05 мл. Вычислите, на сколько дней хватит человеку иода, содержащегося в одной капле спиртовой настойки. Учитывая опасность избыточного содержания иода, можно ли использовать спиртовую настойку иода в качестве источника этого элемента для человека?

2. По содержанию в водах Мирового океана бромид-ионы занимают четвертое место среди всех анионов. Их массовая доля составляет  $65 \text{ млн}^{-1}$ . Вычислите молярную концентрацию бромид-ионов в океанической воде в ммоль/л. Плотность океанической воды принять равной  $1 \text{ г/мл}$ .

3. При нагревании водного раствора хлорита натрия происходит диспропорционирование этой соли с образованием хлората и хлорида натрия. Составьте уравнение этой реакции методом электронного баланса и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов.

4. В соответствии с правилами ИЮПАК составьте название комплексного соединения  $\text{K}[\text{AuCl}_4]$ . Напишите химическую формулу лиганда.

5. Напишите химический символ самого электроотрицательного из химических элементов.

### Вариант 25

1. Вычислите массу (г) хлорид-ионов, содержащихся в  $1 \text{ кг}$  сильвинитовой руды Верхнекамского месторождения, если массовые доли содержащихся в ней солей хлороводородной кислоты составляют (%): хлорида калия —  $41,3$ ; хлорида натрия —  $53,8$ ; хлорида магния —  $0,2$ .

2. Промышленность производит  $25\%$ -й раствор хлорита натрия, который используют для получения диоксида хлора, применяемого для обеззараживания питьевой воды. Вычислите молярную концентрацию соли в этом растворе (плотность раствора —  $1,21 \text{ г/мл}$ ).

3. Вычислите  $\text{pH}$   $0,015 \text{ M}$  раствора иодноватой кислоты.

4. Какой объем хлора (л; н.у.) можно получить при взаимодействии  $100 \text{ г}$  технического диоксида марганца, содержащего  $10\%$  примесей, и  $500 \text{ мл}$   $12,5 \text{ M}$  раствора хлороводородной кислоты?

5. Природные термальные воды могут содержать до  $3,5 \text{ мг/л}$  фтороводорода. Вычислите соответствующую молярную концентрацию фтороводорода.

### Вариант 26

1. Вычислите массовую долю фтора в криолите — редко встречающемся в природе минерале, который используют в производстве алюминия и для этой цели синтезируют искусственно.

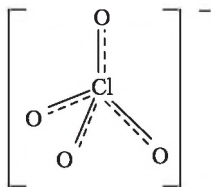
2. Напишите химическую формулу оксида хлора, который производят в промышленном масштабе, и вычислите степень окисления хлора в этом соединении.



3. Одним из показателей качества растительного масла является его цветность, которая может быть охарактеризована цветным числом. Для определения цветного числа интенсивность окраски масла сравнивают с окраской эталонов — растворов с разным содержанием иода. Стандартный раствор для приготовления эталонов готовят путем разбавления 0,79 мл 0,1 н. раствора иода до объема 100 мл. Вычислите массу (мг) иода, содержащегося в 1 мл стандартного раствора.

4. Долгое время не удавалось получить бромную кислоту  $\text{HBrO}_4$  и ее соли перброматы. В настоящее время эта проблема решена, эти вещества получены и изучены их свойства. Пользуясь значениями стандартных электродных потенциалов, определите, каким из галогенов можно окислить бромат-ион до пербромат-иона. Напишите химическую формулу молекулы этого галогена.

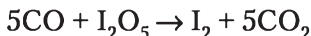
5. Напишите название аниона кислородсодержащей кислоты хлора, структурная формула которого приведена ниже:



### Вариант 27

1. Вычислите массу (г) хлорид-ионов, содержащихся в 1 кг карналлитовой руды Верхнекамского месторождения, если массовые доли содержащихся в ней солей хлороводородной кислоты составляют (%): хлорида калия — 23,6; хлорида натрия — 20,6; хлорида магния — 25,9.

2. Пентаоксид диіода используют для определения содержания монооксида углерода в атмосфере. Вычислите молярную массу эквивалента окислителя в происходящей при этом реакции:



3. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в молекулярной форме и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



4. В соответствии с правилами ИЮПАК составьте название комплексного соединения  $K_3[BiBr_6]$ . Напишите химическую формулу лиганда.

5. Вычислите, во сколько раз (при расчете округлить до целых) энергия связи  $Al-F$  превышает энергию разрыва связи  $F-F$ .

### Вариант 28

1. Содержание хлорид-ионов в крови человека и теплокровных животных превышает содержание других анионов: в 1 л крови человека находится 5 г хлорид-ионов. Вычислите их молярную концентрацию. Плотность крови принять равной 1,05 г/мл.

2. Напишите химические формулы оксидов, в которых хлор проявляет четные степени окисления.

3. Вычислите pH 0,01 М раствора бромноватой кислоты.

4. Пользуясь методом электронного баланса, составьте уравнение окислительно-восстановительной реакции между монооксидом дихлора и аммиаком, в результате которой образуются диазот, хлорид аммония и вода, подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов.

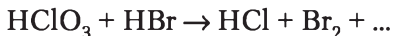
5. Во сколько раз содержание фтора в почве превышает его содержание в биомассе?

### Вариант 29

1. Вычислите массу (мг) хлорид-ионов, содержащихся в 1 л воды реки Волги, если их молярная концентрация составляет 1,4 ммоль/л.

2. Вычислите pH 1 М раствора иодоводородной кислоты. Коэффициент активности равен 0,963.

3. Пользуясь методом полуреакций, закончите уравнение реакции в молекулярной форме и вычислите ее ЭДС:



4. В соответствии с правилами ИЮПАК составьте название комплексного соединения  $Na_2[CuCl_4]$ . Напишите химическую формулу лиганда.

5. Напишите общее название всех бинарных соединений фтора.

### Вариант 30

1. Большую часть получаемого в промышленности фтора расходуют для получения гексафторида урана, который легко возгоняется и используется для разделения изотопов урана. Вычислите массовую (%) долю фтора в этом соединении.

2. Газообразный иодоводород очень хорошо растворим в воде: при  $0^{\circ}\text{C}$  его массовая доля в растворе составляет 90%. Вычислите количество (моль) иодоводорода, содержащегося в 1 кг насыщенной иодоводородной кислоты при этой температуре.

3. Напишите уравнение реакции диспропорционирования гексаоксида дихлора в водной среде с образованием хлорноватой и хлорной кислот и вычислите молярную массу эквивалента окислителя в этой реакции.

4. Пользуясь методом электронного баланса, составьте уравнение окислительно-восстановительной реакции между хлоритом натрия и молекулярным хлором, в результате которой образуются диоксид хлора и хлорид натрия, и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов.

5. Напишите формулу и название представляющего экологическую опасность галогенид-иона, который может сохраняться в неочищенных фосфорных удобрениях.

## Глава 17

### Химия *d*-элементов

---

В результате успешного освоения материала этой главы студент должен:

- **знать:** химические свойства важнейших соединений *d*-элементов;
- **уметь:** составлять уравнения окислительно-восстановительных реакций с участием соединений *d*-элементов;
- **владеть:** представлениями о структуре важнейших соединений *d*-элементов и их значении в природе и сельском хозяйстве.

**Изучите:** гл. 23.

**Повторите:** параграф 9 гл. 9, гл. 10.

---

#### 17.1. Вопросы для подготовки к коллоквиуму

1. Каково положение переходных металлов в периодической системе химических элементов Д. И. Менделеева?

2. Какие энергетические подуровни заполняются электронами в атомах переходных металлов?

3. Как свойства переходных металлов зависят от электронных структур *s*-, *p*-, *d*- и *f*-подуровней атомов?

4. Какие химические особенности *d*-металлов отличаются их от *s*-металлов?

5. В каких соединениях *d*-металлы проявляют высшие степени окисления?

6. В чем заключается сходство высших оксидов *d*-металлов и их производных с аналогичными соединениями *p*-элементов?

7. В каких соединениях *3d*-металлы проявляют низшие степени окисления (+1, +2, +3)?

8. Каковы строение и свойства комплексных соединений одно-, двух- и трехзарядных катионов *3d*-металлов? Каким образом различия в их устойчивости в водных растворах связаны с зарядом катиона и природой лиганда?

9. Каковы особенности химических свойств важнейших биогенных  $d$ -металлов: ванадия, хрома, марганца, железа, кобальта, никеля, меди, цинка и молибдена?

10. Каковы особенности химических свойств  $f$ -металлов?

## 17.2. Пример решения задач

В этой главе представлены задачи, призванные, с одной стороны, продемонстрировать особенности химических свойств соединений переходных элементов, а с другой — обобщить и повторить весь материал, изученный в предыдущих главах.

### Пример 17.1.

**Задача.** Укажите числовые значения четырех квантовых чисел для 21-го электрона в атоме скандия.

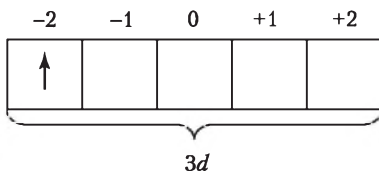
**Решение.** Порядковый номер скандия Sc в периодической системе равен 21. Значит, 21-й электрон — это последний из электронов, заполняющих энергетические уровни, подуровни и орбитали в атоме скандия.

Скандий — элемент четвертого периода, следовательно, в его атоме, как и в атомах всех элементов четвертого периода, имеется четыре энергетических уровня. На этом уровне заполнен электронами только подуровень  $4s$ . Его заполнение происходит в атомах калия, в котором имеется 19 электронов, и кальция (20 электронов).

В соответствии с правилами Клечковского после заполнения подуровня  $4s$  начинается заполнение подуровня  $3d$ , на котором и находится 21-й электрон атома скандия. Цифра 3 в обозначении подуровня  $3d$  указывает номер энергетического уровня, которому принадлежит данный подуровень, а так как энергетический уровень электрона в атоме определяется главным квантовым числом, главное квантовое число  $n$  для 21-го электрона в атоме скандия равно 3.

21-й электрон находится на  $d$ -подуровне, поэтому орбитальное квантовое число  $l$  для него равно 2.

Для определения числового значения магнитного квантового числа следует рассмотреть электронно-структурную формулу  $3d$ -подуровня атома скандия:



Из электронно-структурной формулы очевидно, что магнитное квантовое число для орбитали, на которой находится 21-й

электрон, равно  $-2$ . Для электронов, по одному заполняющих орбитали, принимаем значение спинowego квантового числа равным  $+1/2$ .

Ответ.  $n = 3, l = 2, m = -2, s = +1/2$ .

### 17.3. Индивидуальные задания

#### Вариант 1

1. Какие электронные подуровни заполняются в атомах переходных металлов?

2. Укажите числовые значения четырех квантовых чисел для 23-го электрона в атоме ванадия.

3. Закончите уравнение методом полуреакций и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



4. Назовите комплексное соединение  $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_6]\text{SO}_4$  и определите заряд иона-комплексобразователя.

5. Напишите название и химическую формулу соединения марганца, которое чаще других находят в почвах.

#### Вариант 2

1. Напишите общее название *d*- и *f*-элементов.

2. Укажите числовые значения четырех квантовых чисел для 21-го электрона в атоме скандия.

3. Закончите уравнение методом полуреакций и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



4. Напишите химическую формулу комплексного соединения гексацианокадмат(II) калия.

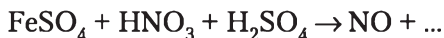
5. Какую геометрическую форму имеет аквакатион  $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ ?

#### Вариант 3

1. Напишите общее название элементов, в атомах которых застраивается электронами подуровень  $4f$ .

2. Укажите числовые значения четырех квантовых чисел для 22-го электрона в атоме титана.

3. Закончите уравнение методом полуреакций и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



4. Назовите комплексное соединение  $K_4[Cd(OH)_6]$  и определите заряд иона-комплексобразователя.

5. Напишите название витамина, в состав которого входит кобальт.

#### Вариант 4

1. Напишите общее название элементов, в атомах которых застраивается электронами подуровень  $5f$ .

2. Укажите числовые значения четырех квантовых чисел для 24-го электрона в атоме хрома.

3. Закончите уравнение методом полуреакций и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



4. Назовите комплексное соединение  $K_4[Cd(CN)_6]$  и определите заряд иона-комплексобразователя.

5. Как называются соли марганцевой кислоты?

#### Вариант 5

1. Напишите химические символы  $d$ -элементов, которые наряду с лантаноидами относятся к редкоземельным элементам.

2. Укажите числовые значения четырех квантовых чисел для 25-го электрона в атоме марганца.

3. Закончите уравнение методом полуреакций и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



4. Назовите комплексное соединение  $[Ni(H_2O)_6]SO_4$  и определите заряд иона-комплексобразователя.

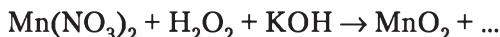
5. Напишите тривиальное название соединения  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ .

#### Вариант 6

1. Сколько  $d$ -элементов входит в состав VIIIB-подгруппы?

2. Укажите числовые значения четырех квантовых чисел для 26-го электрона в атоме железа.

3. Закончите уравнение методом полуреакций и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



4. Назовите комплексное соединение  $[Ni(H_2O)_4Cl_2]$  и определите заряд иона-комплексобразователя..

5. Напишите тривиальное название соединения  $(NH_4)_2 \cdot Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ .

**Вариант 7**

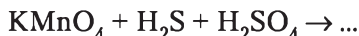
1. Сколько всего *f*-элементов в периодической системе?
2. Укажите числовые значения четырех квантовых чисел для 27-го электрона в атоме кобальта.
3. Закончите уравнение методом полуреакций и подсчитайте сумму коэффициентов:



4. Назовите комплексное соединение  $\text{K}_4[\text{Ni}(\text{C}_2\text{O}_4)_3]$  и определите заряд иона-комплексобразователя.
5. Какую роль играет аквакатион  $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$  в окислительно-восстановительных реакциях, протекающих в водных растворах?

**Вариант 8**

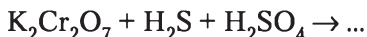
1. Напишите химический символ наиболее распространенного *d*-элемента четвертого периода.
2. Укажите числовые значения четырех квантовых чисел для 28-го электрона в атоме никеля.
3. Закончите уравнение методом полуреакций и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



4. Назовите комплексное соединение  $[\text{V}(\text{H}_2\text{O})_6]\text{SO}_4$  и определите заряд иона-комплексобразователя.
5. Напишите химическую формулу комплексного катиона гексааквахрома(III). Какую геометрическую форму имеет эта частица?

**Вариант 9**

1. Напишите химический символ наиболее распространенного *f*-элемента.
2. Укажите числовые значения четырех квантовых чисел для 29-го электрона в атоме меди.
3. Закончите уравнение методом полуреакций и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



4. Назовите комплексное соединение  $[\text{Ni}(\text{en})_3]\text{SO}_4$  и определите заряд иона-комплексобразователя.
5. Напишите химическую формулу катиона гексаакважелеза(II). Какова его геометрическая форма?

**Вариант 10**

1. Сколько *d*-элементов в четвертом периоде?



2. Укажите числовые значения четырех квантовых чисел для 30-го электрона в атоме цинка.

3. Закончите уравнение методом полуреакций и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



4. Назовите комплексное соединение  $\text{Na}_2[\text{Ni}(\text{ЭДТА})]$  и определите заряд иона-комплексобразователя.

5. Напишите название железосодержащих белков, осуществляющих перенос электронов от окисляемых органических веществ к кислороду.

### Вариант 11

1. Сколько *f*-элементов в шестом периоде?

2. Укажите числовые значения четырех квантовых чисел для 39-го электрона в атоме иттрия.

3. Закончите уравнение методом полуреакций и подсчитайте сумму коэффициентов:



4. Назовите комплексное соединение  $[\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})_6]\text{SO}_4$  и определите заряд иона-комплексобразователя.

5. Напишите химическую формулу кубических кластеров, содержащихся в ферредоксинах хлоропластов, в которых железо служит переносчиком электронов от хлорофилла к окислителям.

### Вариант 12

1. Сколько *f*-элементов в седьмом периоде?

2. Укажите числовые значения четырех квантовых чисел для 40-го электрона в атоме циркония.

3. Закончите уравнение методом полуреакций и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



4. Назовите комплексное соединение  $[\text{Ni}(\text{CO})_4]$  и определите заряд иона-комплексобразователя.

5. Напишите общую химическую формулу железных квасцов.

### Вариант 13

1. Сколько *d*-элементов в пятом периоде?

2. Укажите числовые значения четырех квантовых чисел для 41-го электрона в атоме ниобия.

3. Закончите уравнение методом полуреакций и подсчитайте сумму коэффициентов:



4. Назовите комплексное соединение  $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]\text{Cl}_3$  и определите заряд иона-комплексобразователя.

5. Напишите химическую формулу соли Мора.

#### Вариант 14

1. Какова высшая степень окисления ванадия?

2. Укажите числовые значения четырех квантовых чисел для 42-го электрона в атоме молибдена.

3. Закончите уравнение методом полуреакций и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



4. Назовите комплексное соединение  $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_4\text{Cl}_2]\text{Cl}$  и определите заряд иона-комплексобразователя.

5. Напишите химическую формулу железного купороса.

#### Вариант 15

1. Какова высшая степень окисления хрома?

2. Укажите числовые значения четырех квантовых чисел для 43-го электрона в атоме технеция.

3. Закончите уравнение методом полуреакций и вычислите электродвижущую силу реакции:



4. Назовите комплексное соединение  $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_5\text{Cl}]\text{Cl}_2$  и определите координационное число иона-комплексобразователя.

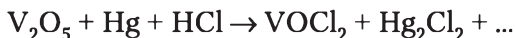
5. Напишите химическую формулу комплексного соединения перхлорат гексаакважелеза(III).

#### Вариант 16

1. Напишите электронные формулы наиболее устойчивых электронных конфигураций *3d*-подуровня.

2. Укажите числовые значения четырех квантовых чисел для 44-го электрона в атоме рутения.

3. Закончите уравнение методом полуреакций и вычислите молярную массу эквивалента окислителя:



4. Назовите комплексное соединение  $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]\text{SO}_4$  и определите заряд иона-комплексобразователя.

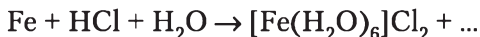
5. Напишите химическую формулу кобальтового купороса. Какую роль играет это вещество в сельском хозяйстве?

### Вариант 17

1. Пользуясь правилами Клечковского, расположите в порядке заполнения электронами следующие энергетические подуровни:  $3d$ ,  $4s$ ,  $4p$ .

2. Укажите числовые значения четырех квантовых чисел для 45-го электрона в атоме родия.

3. Закончите уравнение методом полуреакций и подсчитайте сумму коэффициентов:



4. Назовите комплексное соединение  $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_5\text{OH}]\text{SO}_4$  и определите заряд иона-комплексобразователя.

5. Напишите химическую формулу катиона гексааквамарганца(II). Какова его геометрическая форма?

### Вариант 18

1. Напишите химический символ наиболее тугоплавкого  $d$ -металла четвертого периода (см. рис. 23.1 учебника).

2. Укажите числовые значения четырех квантовых чисел для 46-го электрона в атоме палладия.

3. Закончите уравнение методом полуреакций и вычислите ЭДС реакции:



4. Назовите комплексное соединение  $\text{K}_3[\text{Cr}(\text{OH})_6]$  и определите заряд иона-комплексобразователя.

5. Напишите химическую формулу содержащего марганец минерала пиролюзита. Какова степень окисления марганца в пиролюзите?

### Вариант 19

1. Напишите химический символ элемента первого переходного ряда, проявляющего наибольшую степень окисления.

2. Укажите числовые значения четырех квантовых чисел для 47-го электрона в атоме серебра.

3. Закончите уравнение методом полуреакций и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



4. Назовите комплексное соединение  $[\text{Mn}(\text{H}_2\text{O})_6]\text{SO}_4$  и определите заряд иона-комплексобразователя.

5. Напишите химическую формулу кристаллогидрата соли меди, который чаще всего используют в качестве медного микроудобрения.

### Вариант 20

1. Напишите химические символы катионов *d*-элементов четвертого периода, имеющих одинаковую электронную конфигурацию  $d^6$ .

2. Укажите числовые значения четырех квантовых чисел для 48-го электрона в атоме кадмия.

3. Закончите уравнение методом полуреакций и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



4. Назовите комплексное соединение  $[\text{Mn}(\text{H}_2\text{O})_5\text{Cl}]\text{Cl}$  и определите заряд иона-комплексобразователя.

5. Напишите тривиальное название соединения  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ .

### Вариант 21

1. Напишите химический символ и название самого редкого из элементов VIIIB-подгруппы (см. табл. 23.1 учебника).

2. Укажите числовые значения четырех квантовых чисел для 57-го электрона в атоме лантана.

3. Закончите уравнение методом полуреакций и вычислите ЭДС:



4. Назовите комплексное соединение  $[\text{Mn}(\text{H}_2\text{O})_5\text{NH}_3]\text{SO}_4$  и определите заряд иона-комплексобразователя.

5. Напишите химическую формулу комплексного соединения сульфат диакватетраамминмеди(II).

### Вариант 22

1. Напишите химические символы катионов *d*-элементов, имеющих одинаковую электронную конфигурацию  $d^5$ .

2. Укажите числовые значения четырех квантовых чисел для 72-го электрона в атоме гафния.

3. Закончите уравнение методом полуреакций и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



4. Назовите комплексное соединение  $[\text{Mn}(\text{H}_2\text{O})_4\text{SO}_4]$  и определите дентатность сульфат-иона, если координационное число катиона марганца равно 6.

5. Напишите химическую формулу комплексного соединения сульфат диаквабис(этилендиамин)меди(II).

### Вариант 23

1. Напишите химические символы двухзарядных катионов *d*-элементов, проявляющих в водных растворах свойства сильных восстановителей.

2. Укажите числовые значения четырех квантовых чисел для 73-го электрона в атоме тантала.

3. Закончите уравнение методом полуреакций и вычислите ее ЭДС:



4. Назовите комплексное соединение  $\text{Na}_4[\text{Mn}(\text{OH})_6]$  и определите заряд иона-комплексобразователя.

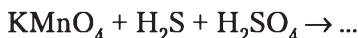
5. Напишите химическую формулу комплексного соединения тетрагидроксокупрат(II) натрия.

### Вариант 24

1. Напишите химический символ и название наиболее распространенного из элементов VIIIB-подгруппы.

2. Укажите числовые значения четырех квантовых чисел для 74-го электрона в атоме вольфрама.

3. Закончите уравнение методом полуреакций, подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов и вычислите ЭДС:



4. Назовите комплексное соединение  $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]\text{SO}_4$  и определите заряд иона-комплексобразователя.

5. Напишите химическую формулу кристаллогидрата соли марганца, которую используют в качестве микроудобрения.

### Вариант 25

1. Напишите химический символ и название наиболее электроположительного *d*-элемента четвертого периода.

2. Укажите числовые значения четырех квантовых чисел для 75-го электрона в атоме рения.

3. Закончите уравнение методом полуреакций (полуреакция восстановления:  $\text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ = \text{H}_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ ), подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов и вычислите ЭДС:



4. Назовите комплексное соединение  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{SO}_4$  и определите заряд иона-комплексобразователя.

5. Напишите тривиальное название соединения  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ .

### Вариант 26

1. Напишите химический символ и название *d*-элемента четвертого периода, имеющего наибольший металлический радиус.

2. Укажите числовые значения четырех квантовых чисел для 76-го электрона в атоме осмия.

3. Закончите уравнение методом полуреакций и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



4. Назовите комплексное соединение  $\text{Na}_2[\text{Co}(\text{SCN})_4]$  и определите заряд иона-комплексобразователя.

5. Напишите химическую формулу комплексного соединения тетрацианоцинкат(II) натрия.

### Вариант 27

1. Напишите химический символ и название *d*-элемента четвертого периода, имеющего наименьший металлический радиус.

2. Укажите числовые значения четырех квантовых чисел для 77-го электрона в атоме иридия.

3. Закончите уравнение методом полуреакций и вычислите ее ЭДС:



4. Назовите комплексное соединение  $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_4\text{Cl}_2]$  и определите заряд иона-комплексобразователя.

5. Напишите химическую формулу цинкового купороса.

### Вариант 28

1. Напишите химический символ и название *d*-элемента четвертого периода, двухзарядный катион которого имеет наименьший радиус.

2. Укажите числовые значения четырех квантовых чисел для 78-го электрона в атоме платины.

3. Закончите уравнение методом полуреакций и вычислите ЭДС:



4. Назовите комплексное соединение  $\text{Na}_2[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_2\text{Cl}_4]$  и определите заряд иона-комплексобразователя.

5. Напишите химическую формулу комплексного соединения хлорид гексаамминцинка(II).

### Вариант 29

1. Напишите химический символ и название *d*-элемента четвертого периода, имеющего наиболее высокий стандартный электродный потенциал для полуреакции  $\text{M}^{2+} + 2e^- = \text{M}$ .

2. Укажите числовые значения четырех квантовых чисел для 79-го электрона в атоме золота.

3. Закончите уравнение методом полуреакций и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



4. Назовите комплексное соединение  $\text{Na}_4[\text{CoCl}_6]$  и определите заряд иона-комплексобразователя.

5. Напишите химическую формулу соли молибденовой кислоты, которую чаще всего используют в качестве молибденового микроудобрения.

### Вариант 30

1. Напишите химический символ и название наиболее электроотрицательного *d*-элемента четвертого периода.

2. Укажите числовые значения четырех квантовых чисел для 80-го электрона в атоме ртути.

3. Закончите уравнение методом полуреакций и подсчитайте сумму стехиометрических коэффициентов:



4. Назовите комплексное соединение  $\text{Na}_2[\text{Co}(\text{OH})_4]$  и определите заряд иона-комплексобразователя.

5. Напишите химическую формулу катиона гексаакважелеза(III). Какова его геометрическая форма?

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение 1

#### Стандартные термодинамические величины

Формула вещества	$\Delta H_{f, 298}^0$ , кДж/моль	$S^0$ , Дж/(моль · К)	$\Delta G_{f, 298}^0$ , кДж/моль
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (стекл)	–1254	78	–1182
B <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (г)	38,5	232,0	89,6
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> (трикл)	–1094	88,7	–968,8
C (графит)	0	5,74	0
C (алмаз)	1,83	2,37	2,83
CO <sub>2</sub> (г)	–393,5	213,7	–394,4
Cs	0	84,4	0
CsH (к)	–54,1	66,94	–29,6
C <sub>2</sub> N <sub>2</sub> (г)	307,3	241,8	309,2
Cl <sub>2</sub> (г)	0	222,9	0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (к)	–822,2	87,4	–740,3
FeS <sub>2</sub> (к)	–163,2	52,9	–151,8
H <sub>2</sub> (г)	0	130,52	0
H <sub>2</sub> O (г)	–241,8	188,7	–228,6
H <sub>2</sub> O (ж)	–285,8	70,1	–237,2



Окончание таблицы

Формула вещества	$\Delta H^0_{f, 298'}$ кДж/моль	$S^0$ , Дж/(моль · К)	$\Delta G^0_{f, 298'}$ кДж/моль
HCl (г)	-91,8	186,8	-94,8
H <sub>2</sub> S (г)	-21,0	205,7	-33,8
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (ж)	-814,2	156,9	-690,3
H <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>7</sub> (ж)	-1272,3	—	—
K <sub>2</sub> O (к)	-363,2	94,1	-322,1
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (к)	-1146,1	156,3	-1059,8
KCl (к)	-435,9	82,6	-408,0
KClO <sub>4</sub> (к)	-430,1	151,0	-300,4
NO (г)	90,25	210,6	86,6
N <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (г)	83,3	307	140,5
NO <sub>2</sub> (г)	33,0	240,2	51,5
N <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (к)	-42,7	178,0	114,1
NaNO <sub>2</sub> (к)	-359,0	106	-295
NaNO <sub>3</sub> (к)	-466,7	116	-365,9
O <sub>2</sub> (г)	0	205	0
O <sub>3</sub> (г)	142,3	238,8	162,7
S (ромб)	0	31,9	0
SO <sub>2</sub> (г)	-296,9	248,1	-300,2
SO <sub>3</sub> (г)	-439,0	122	-368,4
SO <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> (г)	-391,2	216,3	-305,0
SiO <sub>2</sub> (кварц)	-910,9	41,8	-856,7
SiH <sub>4</sub> (г)	34,7	204,6	57,2

## Приложение 2

Состав питательных растворов для выращивания овощей в защищенном грунте  
(указана масса соли (г), растворяемая в 1000 л воды)

Автор	Компоненты раствора									
	$\text{NH}_4\text{NO}_3$	$\text{KNO}_3$	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	$\text{KH}_2\text{PO}_4$	$\text{MgSO}_4$	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	KCl	$\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Суперфосфат простой
Кноп	—	250	1000	250	250	—	—	—	100	—
Гельри-гель	—	—	492	136	—	123	75	—	—	—
Пряниш-ников	240	—	—	—	—	123	—	172	344	—
Хогланд и Арнон	—	505	820	136	—	240	—	—	—	—
Герике	—	1010	475	136	120	—	—	—	—	—
Чесноков, Базырина	200	500	—	—	—	300	—	—	—	550
Рейнгольд, Гейслер	—	1000	—	—	—	250	—	—	—	750

## Приложение 3

**Константы диссоциации слабых кислот и оснований при температуре 25°С (в скобках указана степень диссоциации)**

Название	Формула	<i>K</i>
<i>Слабые кислоты</i>		
Азотистая	$\text{HNO}_2$	$4,3 \cdot 10^{-4}$
Азотноватистая	$\text{H}_2\text{N}_2\text{O}_2$	(I) $1,0 \cdot 10^{-7}$ (II) $1,0 \cdot 10^{-11}$
Борная (орто)	$\text{H}_3\text{BO}_3$	$5,8 \cdot 10^{-10}$
Бромноватая	$\text{HBrO}_3$	$2 \cdot 10^{-1}$
Бромноватистая	$\text{HOBr}$	$2,06 \cdot 10^{-9}$
Дифосфорная (пирофосфорная)	$\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$	(I) $1,4 \cdot 10^{-1}$ (II) $1,1 \cdot 10^{-2}$ (III) $2,1 \cdot 10^{-7}$ (IV) $4,1 \cdot 10^{-10}$
Иодная (орто)	$\text{H}_5\text{IO}_6$	(I) $2 \cdot 10^{-4}$ (II) $7,08 \cdot 10^{-9}$ (III) $2,5 \cdot 10^{-13}$
Иодноватая	$\text{HIO}_3$	$1,7 \cdot 10^{-1}$
Иодноватистая	$\text{HOI}$	$2,3 \cdot 10^{-11}$
Кремниевая (мета)	$\text{H}_2\text{SiO}_3$	(I) $2,2 \cdot 10^{-10}$ (II) $1,6 \cdot 10^{-12}$
Кремниевая (орто)	$\text{H}_4\text{SiO}_4$	(I) $1,0 \cdot 10^{-10}$ (II) $1,6 \cdot 10^{-12}$ (III) $1 \cdot 10^{-12}$ (IV) $1 \cdot 10^{-12}$
Муравьиная	$\text{HCOOH}$	$1,77 \cdot 10^{-4}$
Мышьяковая	$\text{H}_3\text{AsO}_4$	(I) $5,6 \cdot 10^{-3}$ (II) $1,7 \cdot 10^{-7}$ (III) $3,0 \cdot 10^{-12}$
Мышьяковистая (мета)	$\text{HAsO}_2$	$6 \cdot 10^{-10}$
Селеноводородная	$\text{H}_2\text{Se}$	(I) $1,7 \cdot 10^{-4}$ (II) $1 \cdot 10^{-11}$
Серная	$\text{H}_2\text{SO}_4$	(II) $1,3 \cdot 10^{-2}$
Сернистая	$\text{H}_2\text{SO}_3$	(I) $1,54 \cdot 10^{-2}$ (II) $1,02 \cdot 10^{-7}$
Сероводородная	$\text{H}_2\text{S}$	(I) $9,5 \cdot 10^{-8}$ (II) $1 \cdot 10^{-14}$
Теллуриводородная	$\text{H}_2\text{Te}$	(I) $2,3 \cdot 10^{-3}$ (II) $1 \cdot 10^{-11}$

## Окончание таблицы

Название	Формула	<i>K</i>
Тиоциановая	HNCS	$1,4 \cdot 10^{-1}$
Угольная	$H_2CO_3$	(I) $1,32 \cdot 10^{-4}$ (истинная) (I) $4,27 \cdot 10^{-7}$ (кажущаяся) (II) $4,68 \cdot 10^{-11}$
Уксусная	$CH_3COOH$	$1,75 \cdot 10^{-5}$
Фосфористая	$H_3PO_3$	(I) $5,1 \cdot 10^{-2}$ (II) $1,8 \cdot 10^{-7}$
Фосфорная (орто)	$H_3PO_4$	(I) $7,1 \cdot 10^{-3}$ (II) $6,2 \cdot 10^{-8}$ (III) $5,0 \cdot 10^{-13}$
Фосфорноватистая	$H_3PO_2$	$8,9 \cdot 10^{-2}$
Фтороводородная	HF	$6,61 \cdot 10^{-4}$
Хлорноватистая	HOCl	$3,9 \cdot 10^{-8}$
Хлористая	$HClO_2$	$1,1 \cdot 10^{-2}$
Циановодородная	HCN	$5,0 \cdot 10^{-10}$
Щавелевая	$H_2C_2O_4$	(I) $5,6 \cdot 10^{-2}$ (II) $5,4 \cdot 10^{-5}$
<i>Слабые основания</i>		
Алюминия гидроксид	$Al(OH)_3$	(III) $1,38 \cdot 10^{-9}$
Аммиака раствор	$NH_3 + H_2O$	$1,75 \cdot 10^{-5}$
Гидразина раствор	$N_2H_4 + H_2O$	(I) $3,2 \cdot 10^{-7}$ (II) $6,3 \cdot 10^{-16}$
Гидроксиламина раствор	$NH_2OH + H_2O$	$9,3 \cdot 10^{-9}$
Железа(II) гидроксид	$Fe(OH)_2$	(II) $1,3 \cdot 10^{-4}$
Железа(III) гидроксид	$Fe(OH)_3$	(III) $1,35 \cdot 10^{-12}$
Магния гидроксид	$Mg(OH)_2$	(II) $2,5 \cdot 10^{-3}$
Марганца гидроксид	$Mn(OH)_2$	(II) $5 \cdot 10^{-4}$
Меди гидроксид	$Cu(OH)_2$	(II) $3,4 \cdot 10^{-7}$
Никеля гидроксид	$Ni(OH)_2$	(II) $2,5 \cdot 10^{-5}$
Свинца гидроксид	$Pb(OH)_2$	(II) $9,6 \cdot 10^{-4}$
Хрома(III) гидроксид	$Cr(OH)_3$	(III) $1,02 \cdot 10^{-10}$
Цинка гидроксид	$Zn(OH)_2$	(II) $4 \cdot 10^{-5}$

**Ионное произведение воды  
при различных температурах**

$t, ^\circ\text{C}$	$K_w \cdot 10^{14}$	$t, ^\circ\text{C}$	$K_w \cdot 10^{14}$	$t, ^\circ\text{C}$	$K_w \cdot 10^{14}$
0	0,114	40	2,918	75	20,4
10	0,292	45	4,018	80	25,1
15	0,451	50	5,474	85	30,9
20	0,681	55	7,297	90	38,0
25	1,008	60	9,614	95	47,7
30	1,469	65	12,6	100	55,0
35	2,088	70	15,8		

# Электроотрицательности элементов по Полингу

[illegible]

**Стандартные окислительно-восстановительные  
потенциалы в водных растворах  
(при температуре 25°C и давлении 101,325 кПа)**

Полуреакция восстановления	$E^0$ , В
<i>Азот</i>	
$N_2 + 4H_2O + 2e^- = 2NH_2OH + 2OH^-$	-3,04
$N_2 + 2H_2O + 2H^+ + 2e^- = 2NH_2OH$	-1,87
$N_2 + 4H_2O + 4e^- = N_2H_4 + 4OH^-$	-1,16
$NO_2^- + H_2O + e^- = NO + 2OH^-$	-0,46
$NO_2^- + 6H_2O + 6e^- = NH_4OH + 7OH^-$	-0,15
$NO_3^- + 2H_2O + 3e^- = NO + 4OH^-$	-0,14
$NO_3^- + 7H_2O + 8e^- = NH_4OH + 9OH^-$	-0,12
$N_2H_4 + 2H_2O + 2e^- = 2NH_3 + 2OH^-$	0,11
$N_2 + 6H^+ + 6e^- = 2NH_3$	0,057
$NO_3^- + H_2O + 2e^- = NO_2^- + 2OH^-$	0,01
$N_2 + 8H^+ + 6e^- = 2NH_4^+$	0,275
$2NO_2^- + 4H_2O + 6e^- = N_2 + 8OH^-$	0,41
$2NO_2 + 4H_2O + 8e^- = N_2 + 8OH^-$	0,53
$NO_3^- + 2H^+ + e^- = NO_2 + H_2O$	0,78
$2NO + 2H_2O + 4e^- = N_2 + 4OH^-$	0,85
$HNO_2 + 7H^+ + 6e^- = NH_4^+ + 2H_2O$	0,864
$NO_3^- + 10H^+ + 8e^- = NH_4^+ + 3H_2O$	0,87
$2NO_2 + 2e^- = 2NO_2^-$	0,88
$NO_3^- + 3H^+ + 2e^- = HNO_2 + H_2O$	0,94
$NO_3^- + 4H^+ + 3e^- = NO + 2H_2O$	0,957
$HNO_2 + H^+ + e^- = NO + H_2O$	1,00
$NH_2OH + 3H^+ + 2e^- = NH_4^+ + H_2O$	1,35
$2HNO_2 + 6H^+ + 6e^- = N_2 + 4H_2O$	1,45
<i>Алюминий</i>	
$AlO_2^- + 2H_2O + 3e^- = Al + 4OH^-$	-2,35
$Al^{3+} + 3e^- = Al$	-1,663
$AlO_2^- + 4H^+ + 3e^- = Al + 2H_2$	-1,262
<i>Барий</i>	
$Ba^{2+} + 2e^- = Ba$	-2,905

## Продолжение таблицы

Полуреакция восстановления	$E^0$ , В
<i>Бор</i> $\text{H}_3\text{BO}_3 + 2\text{H}^+ + 3e^- = \text{B} + 3\text{H}_2\text{O}$	-0,869
<i>Бром</i> $2\text{BrO}^- + 2\text{H}_2\text{O} + 2e^- = \text{Br}_2 + 4\text{OH}^-$ $2\text{BrO}_3^- + 6\text{H}_2\text{O} + 10e^- = \text{Br}_2 + 12\text{OH}^-$ $\text{BrO}_3^- + 3\text{H}_2\text{O} + 6e^- = \text{Br}^- + 6\text{OH}^-$ $\text{BrO}^- + \text{H}_2\text{O} + 2e^- = \text{Br}^- + 2\text{OH}^-$ $\text{Br}_2 + 2e^- = 2\text{Br}^-$ $\text{BrO}_3^- + 6\text{H}^+ + 6e^- = \text{Br}^- + 3\text{H}_2\text{O}$ $\text{HBrO} + \text{H}^+ + 2e^- = \text{Br}^- + \text{H}_2\text{O}$ $2\text{BrO}_3^- + 12\text{H}^+ + 10e^- = \text{Br}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$ $2\text{HBrO} + 2\text{H}^+ + 2e^- = \text{Br}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	0,45 0,50 0,61 0,76 1,065 1,44 1,34 1,52 1,59
<i>Водород</i> $2\text{H}_2\text{O} + 2e^- = \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$ $2\text{H}^+ + 2e^- = \text{H}_2$	-0,828 0,0000
<i>Железо</i> $\text{Fe}^{3+} + e^- = \text{Fe}^{2+}$ $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-} + e^- = [\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$	0,771 0,356
<i>Иод</i> $\text{IO}_3^- + 2\text{H}_2\text{O} + 4e^- = \text{IO}^- + 4\text{OH}^-$ $2\text{IO}_3^- + 6\text{H}_2\text{O} + 10e^- = \text{I}_2 + 12\text{OH}^-$ $\text{IO}_3^- + 3\text{H}_2\text{O} + 6e^- = \text{I}^- + 6\text{OH}^-$ $2\text{IO}^- + \text{H}_2\text{O} + 2e^- = \text{I}_2 + 4\text{OH}^-$ $\text{IO}^- + \text{H}_2\text{O} + 2e^- = \text{I}^- + \text{OH}^-$ $\text{I}_2 + 2e^- = 2\text{I}^-$ $\text{I}_3^- + 2e^- = 3\text{I}^-$ $\text{IO}_3^- + 6\text{H}^+ + 6e^- = \text{I}^- + 3\text{H}_2\text{O}$ $2\text{IO}_3^- + 12\text{H}^+ + 10e^- = \text{I}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$	0,14 0,21 0,25 0,45 0,49 0,536 0,545 1,085 1,19
<i>Кадмий</i> $\text{Cd}(\text{OH})_2 + 2e^- = \text{Cd} + 2\text{OH}^-$ $\text{Cd}^{2+} + 2e^- = \text{Cd}$	-0,81 -0,403



Продолжение таблицы

Полуреакция восстановления	$E^0$ , В
<i>Кислород</i>	
$O_2 + H_2O + 2e^- = HO_2^- + OH^-$	-0,076
$O_2 + 2H_2O + 4e^- = 4OH^-$	0,401
$O_2 + 2H^+ + 2e^- = H_2O_2$	0,682
$HO_2^- + H_2O + 2e^- = 3OH^-$	0,88
$O_2 + 4H^+ + 4e^- = 2H_2O$	1,228
$H_2O_2 + 2H^+ + 2e^- = 2H_2O$	1,776
$O_3 + 2H^+ + 2e^- = O_2 + H_2O$	2,07
<i>Кобальт</i>	
$Co^{2+} + 2e^- = Co$	-0,277
$Co(OH)_3 + e^- = Co(OH)_2 + OH^-$	0,17
$Co^{3+} + 3e^- = Co$	0,33
$Co^{3+} + e^- = Co^{2+}$	1,808
<i>Магний</i>	
$Mg^{2+} + 2e^- = Mg$	-2,363
<i>Марганец</i>	
$Mn^{2+} + 2e^- = Mn$	-1,179
$MnO_4^- + e^- = MnO_4^{2-}$	0,564
$MnO_4^{2-} + 2H_2O + 3e^- = MnO_2 + 4OH^-$	0,60
$MnO_2 + 4H^+ + 2e^- = Mn^{2+} + 2H_2O$	1,228
$MnO_4^- + 8H^+ + 5e^- = Mn^{2+} + 4H_2O$	1,507
$MnO_4^- + 4H^+ + 3e^- = MnO_2 + 2H_2O$	1,692
$MnO_4^{2-} + 4H^+ + 2e^- = MnO_2 + 2H_2O$	2,257
<i>Медь</i>	
$Cu^{2+} + 2e^- = Cu$	0,337
$Cu^{2+} + I^- + e^- = CuI$	0,86
<i>Мышьяк</i>	
$HAsO_2 + 2H_2O + 2e^- = H_3AsO_4 + 2H^+$	0,57
<i>Никель</i>	
$Ni^{2+} + 2e^- = Ni$	-0,250
$Ni(OH)_2 + 2H^+ + 2e^- = Ni + 2H_2O$	0,110

## Продолжение таблицы

Полуреакция восстановления	$E^0$ , В
<i>Олово</i> $\text{Sn}^{2+} + 2e^- = \text{Sn}$ $\text{SnO}_2 + 2\text{H}^+ + 2e^- = \text{SnO} + \text{H}_2\text{O}$ $\text{Sn}^{4+} + 2e^- = \text{Sn}^{2+}$	 -0,136 -0,108 0,151
<i>Полоний</i> $\text{Po}^{2+} + 2e^- = \text{Po}$	 0,65
<i>Ртуть</i> $\text{Hg}_2^{2+} + 2e^- = \text{Hg}$ $\text{Hg}^{2+} + 2e^- = \text{Hg}$	 0,788 0,850
<i>Свинец</i> $\text{PbS} + 2e^- = \text{Pb} + \text{S}^{2-}$ $\text{Pb}^{2+} + 2e^- = \text{Pb}$ $\text{PbO}_2 + 4\text{H}^+ + 2e^- = \text{Pb}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$ $\text{PbO}_2 + 4\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-} + 2e^- = \text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$	 -0,93 -0,126 1,449 1,68
<i>Селен</i> $\text{Se} + 2\text{H}^+ + 2e^- = \text{H}_2\text{Se}$ $\text{H}_2\text{SeO}_3 + 4\text{H}^+ + 4e^- = \text{Se} + 3\text{H}_2\text{O}$ $\text{SeO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + 2e^- = \text{H}_2\text{SeO}_3 + \text{H}_2\text{O}$	 -0,40 0,741 1,15
<i>Сера</i> $\text{SO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O} + 2e^- = \text{SO}_3^{2-} + 2\text{OH}^-$ $2\text{SO}_4^{2-} + 5\text{H}_2\text{O} + 8e^- = \text{S}_2\text{O}_3^{2-} + 10\text{OH}^-$ $\text{S} + 2e^- = \text{S}^{2-}$ $\text{S}_4\text{O}_6^{2-} + 2e^- = 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ $\text{S} + 2\text{H}^+ + 2e^- = \text{H}_2\text{S}$ $\text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ = \text{H}_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ $\text{SO}_4^{2-} + 8\text{H}^+ + 8e^- = \text{S}^{2-} + 4\text{H}_2\text{O}$ $\text{SO}_4^{2-} + 10\text{H}^+ + 8e^- = \text{H}_2\text{S} + 4\text{H}_2\text{O}$ $\text{SO}_4^{2-} + 8\text{H}^+ + 6e^- = \text{S} + 4\text{H}_2\text{O}$ $\text{H}_2\text{SO}_3 + 4\text{H}^+ + 4e^- = \text{S} + 3\text{H}_2\text{O}$ $\text{S}_2\text{O}_3^{2-} + 6\text{H}^+ + 4e^- = 2\text{S} + 3\text{H}_2\text{O}$ $\text{S}_2\text{O}_8^{2-} + 2e^- = 2\text{SO}_4^{2-}$	 -0,93 -0,76 -0,48 0,09 0,14 0,17 0,149 0,311 0,357 0,45 0,5 2,01

Продолжение таблицы

Полуреакция восстановления	$E^0$ , В
<i>Серебро</i>	
$\text{AgI} + e^- = \text{Ag} + \text{I}^-$	-0,152
$\text{Ag}^+ + e^- = \text{Ag}$	0,799
<i>Стронций</i>	
$\text{Sr}^{2+} + 2e^- = \text{Sr}$	-2,888
<i>Сурьма</i>	
$\text{SbO}_3^- + \text{H}_2\text{O} + 2e^- = \text{SbO}_2^- + 2\text{OH}^-$	-0,43
$\text{SbO}_3^- + 2\text{H}^+ + 3e^- = \text{SbO}_2^- + \text{H}_2\text{O}$	0,353
<i>Теллур</i>	
$\text{Te} + 2\text{H}^+ + 2e^- = \text{H}_2\text{Te}$	-0,72
$\text{H}_6\text{TeO}_6 + 2\text{H}^+ + 2e^- = \text{TeO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$	1,02
<i>Углерод</i>	
$2\text{CO}_2 + 2\text{H}^+ + 2e^- = \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$	-0,49
<i>Фосфор</i>	
$\text{H}_2\text{PO}_2^- + e^- = \text{P}(\text{белый}) + 2\text{OH}^-$	-2,05
$\text{P}(\text{белый}) + 3\text{H}_2\text{O} + 3e^- = \text{PH}_3 + 3\text{OH}^-$	-0,89
$\text{H}_3\text{PO}_3 + 2\text{H}^+ + 2e^- = \text{H}_3\text{PO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	-0,499
$\text{H}_3\text{PO}_4 + 4\text{H}^+ + 4e^- = \text{H}_3\text{PO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	-0,39
$\text{H}_3\text{PO}_4 + 5\text{H}^+ + 5e^- = \text{P}(\text{белый}) + 4\text{H}_2\text{O}$	-0,411
$\text{H}_3\text{PO}_4 + 5\text{H}^+ + 5e^- = \text{P}(\text{красный}) + 4\text{H}_2\text{O}$	-0,383
$\text{H}_3\text{PO}_4 + 2\text{H}^+ + 2e^- = \text{H}_3\text{PO}_3 + \text{H}_2\text{O}$	-0,276
<i>Фтор</i>	
$\text{F}_2 + 2e^- = 2\text{F}^-$	2,87
<i>Хлор</i>	
$\text{ClO}^- + \text{H}_2\text{O} + 2e^- = \text{Cl}^- + 2\text{OH}^-$	0,88
$\text{ClO}_3^- + 3\text{H}_2\text{O} + 6e^- = \text{Cl}^- + 6\text{OH}^-$	0,63
$2\text{ClO}^- + 2\text{H}_2\text{O} + 2e^- = \text{Cl}_2 + 4\text{OH}^-$	0,40
$\text{Cl}_2 + 2e^- = 2\text{Cl}^-$	1,359
$2\text{ClO}_3^- + 12\text{H}^+ + 10e^- = \text{Cl}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$	1,470
$\text{HOCl} + \text{H}^+ + 2e^- = \text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}$	1,494
$2\text{HOCl} + 2\text{H}^+ + 2e^- = \text{Cl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	1,630

Окончание таблицы

Полуреакция восстановления	$E^0$ , В
<b>Хром</b>	
$\text{Cr}^{2+} + 2e^- = \text{Cr}$	-0,913
$\text{Cr}^{3+} + 3e^- = \text{Cr}$	-0,744
$\text{Cr}^{3+} + e^- = \text{Cr}^{2+}$	-0,407
$\text{CrO}_4^{2-} + 4\text{H}_2\text{O} + 3e^- = \text{Cr}(\text{OH})_3 + 5\text{OH}^-$	-0,13
$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ + 6e^- = 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$	1,333
$\text{CrO}_4^{2-} + 8\text{H}^+ + 3e^- = \text{Cr}^{3+} + 4\text{H}_2\text{O}$	1,477
<b>Цинк</b>	
$\text{Zn}^{2+} + 2e^- = \text{Zn}$	-0,763
$\text{ZnO}_2^{2-} + 4\text{H}^+ + 2e^- = \text{Zn} + 2\text{H}_2\text{O}$	0,441

Приложение 7

### Общие константы устойчивости комплексных соединений (при температуре 25°C)

Комплекс	$K_{\text{уст}}$	Комплекс	$K_{\text{уст}}$
$[\text{AgBr}_2]^-$	$2,2 \cdot 10^7$	$[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$	$7,9 \cdot 10^{12}$
$[\text{AgBr}_4]^{3-}$	$5,4 \cdot 10^8$	$[\text{Cu}(\text{ox})_2]^{2-}$	$2,0 \cdot 10^{10}$
$[\text{Ag}(\text{CN})_2]^-$	$7,1 \cdot 10^{19}$	$[\text{Cu}(\text{P}_2\text{O}_7)_2]^{6-}$	$1,0 \cdot 10^{10}$
$[\text{AgCl}_2]^-$	$1,8 \cdot 10^5$	$[\text{Cu}(\text{S}_2\text{O}_3)_3]^{5-}$	$5,1 \cdot 10^{13}$
$[\text{AgI}_2]^-$	$5,5 \cdot 10^{11}$	$[\text{Cu}(\text{S}_2\text{O}_3)_3]^{4-}$	$6,9 \cdot 10^{13}$
$[\text{Ag}(\text{NCS})_2]^-$	$1,7 \cdot 10^8$	$[\text{FeCl}_4]^-$	$1,4 \cdot 10^{-1}$
$[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$	$1,6 \cdot 10^7$	$[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$	$7,9 \cdot 10^{36}$
$[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_3]^{5-}$	$7,1 \cdot 10^{13}$	$[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$	$7,9 \cdot 10^{43}$
$[\text{AlF}_6]^{3-}$	$6,8 \cdot 10^{20}$	$[\text{Fe}(\text{en})_3]^{2+}$	$5,0 \cdot 10^9$
$[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{OH})_4]^-$	$3,2 \cdot 10^{32}$	$[\text{FeF}_5]^{2-}$	$1,3 \cdot 10^{16}$
$[\text{Al}(\text{ox})_3]^{3-}$	$2,0 \cdot 10^{16}$	$[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_4\text{Cl}_2]^+$	$1,4 \cdot 10^{-1}$
$[\text{AuBr}_2]^-$	$2,9 \cdot 10^{12}$	$[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_5\text{OH}]^+$	$3,6 \cdot 10^5$
$[\text{Ba}(\text{H}_2\text{O})_5\text{NO}_3]^+$	8,3	$[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_5\text{OH}]^{2+}$	$7,5 \cdot 10^{11}$

Окончание таблицы

Комплекс	$K_{i \text{ уст}}$	Комплекс	$K_{i \text{ уст}}$
$[\text{Ba}(\text{H}_2\text{O})_5\text{OH}]^+$	$1,7 \cdot 10^2$	$[\text{Fe}(\text{ox})_3]^{4-}$	$1,7 \cdot 10^5$
$[\text{BeF}_4]^{2-}$	$9,3 \cdot 10^{14}$	$[\text{Fe}(\text{ox})_3]^{3-}$	$1,6 \cdot 10^{20}$
$[\text{Ca}(\text{H}_2\text{O})_5\text{NO}_3]^+$	1,9	$[\text{HgBr}_4]^{2-}$	$1,0 \cdot 10^{20}$
$[\text{Ca}(\text{H}_2\text{O})_5\text{OH}]$	$1,7 \cdot 10^1$	$[\text{HgCl}_4]^{2-}$	$1,7 \cdot 10^{15}$
$[\text{CdCl}_4]^{2-}$	$7,9 \cdot 10^2$	$[\text{HgI}_4]^{2-}$	$6,8 \cdot 10^{29}$
$[\text{Cd}(\text{CN})_4]^{2-}$	$1,3 \cdot 10^{17}$	$[\text{Hg}(\text{S}_2\text{O}_3)_4]^{6-}$	$4,1 \cdot 10^{33}$
$[\text{Cd}(\text{en})_3]^{2+}$	$1,9 \cdot 10^{12}$	$[\text{Mg}(\text{ox})_2]^{2-}$	$2,4 \cdot 10^4$
$[\text{CdI}_4]^{2-}$	$2,6 \cdot 10^5$	$[\text{Ni}(\text{en})_3]^{2+}$	$1,51 \cdot 10^{18}$
$[\text{Cd}(\text{OH})_4]^{2-}$	$1,8 \cdot 10^9$	$[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$	$5,38 \cdot 10^8$
$[\text{Co}(\text{CN})_6]^{4-}$	$1,2 \cdot 10^{19}$	$[\text{Ni}(\text{ox})_3]^{4-}$	$1,0 \cdot 10^{14}$
$[\text{Co}(\text{CN})_6]^{3-}$	$1,0 \cdot 10^{64}$	$[\text{Pb}(\text{OH})_3]^-$	$8,3 \cdot 10^{13}$
$[\text{Co}(\text{en})_3]^{2+}$	$6,6 \cdot 10^{13}$	$[\text{Sr}(\text{H}_2\text{O})_5\text{NO}_3]^+$	6,7
$[\text{Co}(\text{en})_3]^{3+}$	$4,9 \cdot 10^{48}$	$[\text{Sr}(\text{H}_2\text{O})_5\text{OH}]^+$	6,6
$[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$	$2,5 \cdot 10^4$	$[\text{TeI}_4]^{3-}$	$4,0 \cdot 10^1$
$[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$	$1,6 \cdot 10^{35}$	$[\text{TeI}_4]^-$	$2,0 \cdot 10^{30}$
$[\text{Co}(\text{ox})_3]^{4-}$	$5,0 \cdot 10^9$	$[\text{ZnCl}_4]^{2-}$	$3,0 \cdot 10^{-2}$
$[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_5\text{Cl}]^{2-}$	4,0	$[\text{Zn}(\text{CN})_4]^{2-}$	$4,2 \cdot 10^{19}$
$[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_4\text{Cl}_2]^-$	$2,0 \cdot 10^{-1}$	$[\text{Zn}(\text{en})_3]^{2+}$	$1,2 \cdot 10^{12}$
$[\text{CuBr}_2]^-$	$8,3 \cdot 10^5$	$[\text{Zn}(\text{H}_2\text{O})_3\text{Cl}]^-$	$3,2 \cdot 10^{-1}$
$[\text{CuCl}_2]^-$	$3,5 \cdot 10^5$	$[\text{ZnI}_4]^{2-}$	$3,1 \cdot 10^{-1}$
$[\text{CuI}_2]^-$	$5,8 \cdot 10^8$	$[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$	$4,2 \cdot 10^8$
$[\text{Cu}(\text{SCN})_4]^{2-}$	$3,3 \cdot 10^6$	$[\text{Zn}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{2-}$	$3,9 \cdot 10^4$

## Список литературы

1. Вредные вещества в окружающей среде. Справочно-энциклопедическое издание. Элементы I—IV групп периодической системы и их неорганические соединения / под ред. В. А. Филова [и др.]. — СПб. : Профессионал, 2007.

2. Вредные вещества в окружающей среде. Справочно-энциклопедическое издание. Элементы V—VIII групп периодической системы и их неорганические соединения / под ред. В. А. Филова и [др.]. — СПб. : Профессионал, 2007.

3. *Гринвуд, Н.* Химия элементов : в 2 т. / Н. Гринвуд, А. Эрншо. — М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008.

4. *Лурье, И. С.* Технохимический контроль сырья в кондитерском производстве : справочник / И. С. Лурье, А. И. Шаров. — М. : Колос, 2001.

5. Неорганическая химия : в 3 т. / под ред. Ю. Д. Третьякова. — М. : Академия, 2004—2007.

6. *Орлов, Д. С.* Химия почв / Д. С. Орлов, Л. К. Садовникова, Н. И. Суханова. — М. : Высшая школа, 2005.

7. Основы аналитической химии. Задачи и вопросы / под ред. Ю. А. Золотова. — М. : Высшая школа, 2002.

8. *Панов, Н. П.* Почвенные процессы в орошаемых черноземах и каштановых почвах и пути предотвращения их деградации / Н. П. Панов, В. Г. Мамонтов. — М. : Россельхозакадемия, 2001.

9. Практикум по агрохимии / под ред. В. В. Кидина. — М. : Колосс, 2008.

10. *Рабинович, В. А.* Краткий химический справочник / В. А. Рабинович, З. Я. Хавин. — Л. : Химия, 1991.

11. *Снакин, В. В.* Экология и природопользование в России. Энциклопедический словарь. — М. : Академия, 2008.

12. Современная микробиология. Прокариоты : в 2 т. / под ред. Й. Ленглера, Г. Древса, Г. Шлегеля. — М. : Мир, 2009.

13. *Тарасова, Н. П.* Задачи и вопросы по химии окружающей среды / Н. П. Тарасова [и др.]. — М. : Мир, 2002.
14. *Хаускрофт, К.* Современный курс общей химии : в 2 т. / К. Хаускрофт, Э. Констебл. — М. : Мир, 2002.
15. *Хаускрофт, К.* Современный курс общей химии. Задачник : в 2 т. / К. Хаускрофт, Э. Констебл. — М. : Мир, 2002.
16. *Штраусс, С.* Решебник к учебнику «Неорганическая химия» Д. Шрайвера, П. Эткинса. — М. : Мир, 2004.
17. *Шрайвер, Д.* Неорганическая химия : в 2 т. / Д. Шрайвер, П. Эткинс. — М. : Мир, 2004.

**Наши книги можно приобрести:**

**Учебным заведениям и библиотекам:**  
в отделе по работе с вузами  
тел.: (495) 744-00-12, e-mail: vuz@urait.ru

**Частным лицам:**  
список магазинов смотрите на сайте urait.ru  
в разделе «Частным лицам»

**Магазинам и корпоративным клиентам:**  
в отделе продаж  
тел.: (495) 744-00-12, e-mail: sales@urait.ru

**Отзывы об издании присылайте в редакцию**  
e-mail: gred@urait.ru

Новые издания и дополнительные материалы доступны  
на образовательной платформе «Юрайт» urait.ru,  
а также в мобильном приложении «Юрайт.Библиотека»

*Учебное издание*

**Смарыгин Сергей Николаевич,  
Багнавец Наталья Леонидовна,  
Дайдакова Ирина Викторовна**

## **НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ ПРАКТИКУМ**

Учебно-практическое пособие для бакалавров

Под редакцией *С. Н. Смарыгина*

Формат 84×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>.  
Гарнитура «Petersburg». Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 21,74.

**ООО «Издательство Юрайт»**  
111123, г. Москва, ул. Плеханова, д. 4.  
Тел.: (495) 744-00-12. E-mail: izdat@urait.ru, www.urait.ru

<http://chemistry-chemists.com>