

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

## **ХИМИЯ. СБОРНИК ЗАДАЧ**

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением  
по аграрному техническому образованию  
в качестве учебно-методического пособия  
для студентов учреждений высшего образования  
по группе специальностей 0812 «Агроинженерия»  
и специальности 6-05-1021-01 «Охрана труда на производстве»*

Минск  
БГАТУ  
2023

УДК 54(07)  
ББК 24я7  
Х46

Авторы:

доктор физико-математических наук, доцент,  
профессор кафедры *С. М. Арабей*,  
кандидат химических наук, доцент,  
заведующий кафедрой *С. В. Слонская*,  
кандидат химических наук, доцент кафедры *Н. Н. Лубинский*,  
старший преподаватель *А. А. Нехайчик*

Рецензенты:

кафедра химии и методики преподавания химии  
УО «Белорусский государственный  
педагогический университет имени Максима Танка»  
(кандидат химических наук, доцент,  
заведующий кафедрой *А. Л. Козлова-Козыревская*);  
кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры физической,  
коллоидной и аналитической химии УО «Белорусский государственный  
технологический университет» *Е. А. Чижова*

**Химия.** Сборник задач : учебно-методическое пособие /  
Х46 С. М. Арабей [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2023. – 196 с.  
ISBN 978-985-25-0233-7.

Включает примеры типовых задач и их решений, задачи двух уровней сложности для самостоятельного выполнения и контрольные задачи для проверки степени усвоения пройденного материала.

Предназначен для студентов учреждений высшего образования группы специальностей 0812 «Агроинженерия» и специальностей: 6-05-1021-01 «Охрана труда на производстве» и 6-05-0713-04 «Автоматизация технологических процессов и производств».

УДК 54(07)  
ББК 24я7

ISBN 978-985-25-0233-7

© БГАТУ, 2023

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	4
1. Классификация, номенклатура и получение неорганических веществ .....	5
2. Строение атомов и свойства химических элементов.....	12
3. Химическая связь и строение молекул. Комплексные соединения .....	28
4. Способы выражения состава раствора .....	46
5. Жесткость воды .....	58
6. Энергетика химических процессов.....	65
7. Химическая кинетика и равновесие.....	79
8. Растворы неэлектролитов и электролитов .....	101
9. Гидролиз солей .....	120
10. Грубодисперсные и коллоидные системы .....	130
11. Окислительно-восстановительные реакции.....	133
12. Ряд напряжений металлов. Гальванические элементы .....	140
13. Коррозия металлов и сплавов.....	152
14. Электролиз водных растворов электролитов.....	166
15. Физико-химические свойства углеводов.....	178
16. Физико-химические свойства полимерных материалов.....	188
Список литературы.....	195

## ВВЕДЕНИЕ

Сборник задач составлен в соответствии с учебной программой учебной дисциплины «Химия» и предназначен для студентов учреждений высшего образования группы специальностей 0812 «Агроинженерия» и специальностей: 6-05-1021-01 «Охрана труда на производстве» и 6-05-0713-04 «Автоматизация технологических процессов и производств».

Необходимость издания данного пособия обусловлена особенностями модульно-рейтинговой технологии обучения, активно применяемой на кафедре естественнонаучных дисциплин Белорусского государственного аграрного технического университета. Задачи подобраны с учетом специфики технического вуза сельскохозяйственного профиля.

Сборник задач включает: многочисленный дидактический материал, являющийся результатом совершенствования и адаптации задач к требованиям интенсивно развивающейся химической науки, и представляющий собой результат многолетней учебной и научно-методической работы преподавателей кафедры естественнонаучных дисциплин; задачи по всем разделам учебной дисциплины «Химия».

Каждый раздел содержит типовые задачи и их решение, задачи предлабораторного контроля двух уровней сложности (I уровень – репродуктивный и II уровень – продуктивный) и контрольные задачи. Такое построение дает возможность преподавателю осуществлять текущий контроль знаний (подготовку студента к лабораторной работе). Выполнение контрольных задач позволяет студентам самостоятельно определить уровень и объем усвоенного учебного материала, а также свою подготовленность к сдаче модуля.

В сборнике даны современные термины, условные обозначения и единицы измерения, применяемые в Международной системе единиц.

# 1. КЛАССИФИКАЦИЯ, НОМЕНКЛАТУРА И ПОЛУЧЕНИЕ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

## Типовые задачи и их решения

1. Назовите приведенные соединения, укажите их классификацию и один из способов получения: а) CaO; б) Mg(OH)<sub>2</sub>; в) KHCO<sub>3</sub>; г) HCl.

**Решение.** Сложные неорганические соединения подразделяются на классы: оксиды, гидроксиды (основания), кислоты, соли.

а) CaO – оксид кальция. Является солеобразующим, основным оксидом. Одним из способов получения может быть взаимодействие кальция с кислородом:  $2\text{Ca} + \text{O}_2 = 2\text{CaO}$ ;

б) Mg(OH)<sub>2</sub> – гидроксид магния. Является нерастворимым, двухкислотным основанием. Одним из способов получения может быть взаимодействие хлорида магния с гидроксидом натрия:  $\text{MgCl}_2 + 2\text{NaOH} = \text{Mg(OH)}_2 + 2\text{NaCl}$ ;

в) KHCO<sub>3</sub> – гидрокарбонат калия. Является кислой солью. Одним из способов получения может быть взаимодействие гидроксида калия (в недостатке) с углекислым газом:  $\text{KOH} + \text{CO}_2 = \text{KHCO}_3$ ;

г) HCl – хлороводородная кислота. Является бескислородной, одноосновной кислотой. Одним из способов получения является взаимодействие водорода и хлора при облучении жестким светом:  $\text{H}_2 + \text{Cl}_2 = 2\text{HCl}$ .

2. Рассчитайте молярную массу эквивалента серной кислоты H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, гидроксида алюминия Al(OH)<sub>3</sub>, сульфата калия K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и сульфата алюминия Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>.

**Решение.** Молярная масса эквивалента кислоты:

$$M_{\text{э(кислоты)}} = \frac{M}{z},$$

где  $M$  – молярная масса кислоты;

$z$  – число атомов водорода, замещенных на атомы металла.

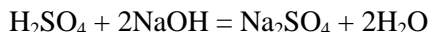
Молярная масса – масса одного моля вещества. Молярную массу вещества определяют как сумму атомных масс входящих в него

элементов с учетом их индексов. Так, для серной кислоты она рассчитывается следующим образом:

$$M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1 \cdot 2 + 32 + 16 \cdot 4 = 98 \text{ г/моль.}$$

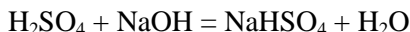
Молярная масса эквивалента вещества может изменяться.

Так, для серной кислоты в реакции получения средней соли



молярная масса эквивалента составляет  $M_3(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98 / 2 = 49 \text{ г/моль.}$

В реакции получения кислой соли



молярная масса эквивалента равна  $M_3(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98 / 1 = 98 \text{ г/моль.}$

*Молярная масса эквивалента основания:*

$$M_{z(\text{основания})} = \frac{M}{z},$$

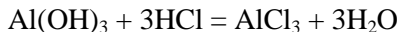
где  $M$  – молярная масса основания;

$z$  – число гидроксильных групп, замещенных на анион кислотного остатка.

Для гидроксида алюминия молярная масса рассчитывается следующим образом:

$$M(\text{Al}(\text{OH})_3) = 27 + (16 + 1) \cdot 3 = 78 \text{ г/моль.}$$

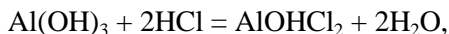
Для реакции получения средней соли



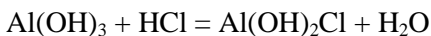
молярную массу эквивалента рассчитывают по формуле

$$M_3(\text{Al}(\text{OH})_3) = M / 3 = 78 / 3 = 26 \text{ г/моль.}$$

Молярная масса эквивалента этого же основания в реакции получения основной соли:



составляет  $M_3(\text{Al(OH)}_3) = 78 / 2 = 39$  г/моль;  
в реакции



составляет  $M_3(\text{Al(OH)}_3) = 78 / 1 = 78$  г/моль.

Молярная масса эквивалента соли:

$$M_{\text{э(соли)}} = \frac{M}{z},$$

где  $M$  – молярная масса соли;

$z = \text{В} \cdot n$ , где  $\text{В}$  – валентность атома металла в составе соли;

$n$  – число атомов металла.

Для сульфата калия и сульфата алюминия молярная масса рассчитывается следующим образом:

$$M(\text{K}_2\text{SO}_4) = 39 \cdot 2 + 32 + 16 \cdot 4 = 174 \text{ г/моль};$$

$$M(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3) = 27 \cdot 2 + (32 + 16 \cdot 4) \cdot 3 = 342 \text{ г/моль},$$

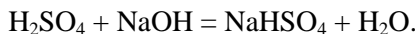
тогда их молярные массы эквивалентов равны:

$$M_3(\text{K}_2\text{SO}_4) = \frac{174}{1 \cdot 2} = 87 \text{ г/моль};$$

$$M_3(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3) = \frac{342}{3 \cdot 2} = 57 \text{ г/моль}.$$

**3.** Составьте уравнение реакции 1 моль  $\text{H}_2\text{SO}_4$  с 1 моль  $\text{NaOH}$ . Укажите классы всех соединений в реакции и назовите их. Определите молярную массу эквивалента  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

**Решение.** Уравнение реакции имеет следующий вид:



Соединение	$\text{H}_2\text{SO}_4$	$\text{NaOH}$	$\text{NaHSO}_4$	$\text{H}_2\text{O}$
Класс соединения	Кислоты	Гидроксиды	Соли (кислая)	Оксиды
Название	Серная кислота	Гидроксид натрия	Гидросульфат натрия	Оксид водорода

Молярная масса эквивалента кислоты равна

$$M_3(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98 / 1 = 98 \text{ г/моль}.$$

### Задачи I уровня

1. Охарактеризуйте свойства оксида кремния (IV): а) амфотерный; б) кислотный; в) не реагирует с водой; г) вытесняет при нагревании из кристаллических карбонатов оксид углерода (IV). Составьте уравнения соответствующих реакций.

2. Щелочи могут реагировать: а) только с сильными кислотами; б) как с сильными, так и со слабыми кислотами; в) только с кислотными оксидами; г) как с кислотными, так и с амфотерными оксидами. Составьте уравнения соответствующих реакций взаимодействия для гидроксида натрия.

3. Двухосновными кислотами являются: а) уксусная; б) серная; в) ортофосфорная; г) угольная. Напишите уравнение реакции взаимодействия 1 моль серной кислоты с 1 моль гидроксида калия, назовите полученные соединения.

4. Кислые соли не могут образовывать кислоты: а) сероводородная; б) йодоводородная; в) серная; г) азотистая. Напишите уравнение реакции взаимодействия 1 моль сероводородной кислоты с 1 моль гидроксида калия, назовите полученные соединения.

5. Два типа кислых солей образует кислота: а) угольная; б) сернистая; в) сероводородная; г) ортофосфорная. Напишите уравнение



реакции взаимодействия 1 моль ортофосфорной кислоты с 1 моль гидроксида калия, назовите полученные соединения.

6. Укажите формулу кислоты: а)  $\text{CaO}$ ; б)  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ; в)  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ; г)  $\text{CuOHNO}_3$ . Напишите уравнение реакции взаимодействия 1 моль данной кислоты с 1 моль гидроксида калия, назовите полученные соединения.

7. Укажите формулу основания (гидроксида): а)  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ; б)  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ; в)  $\text{Cl}_2\text{O}_7$ ; г)  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ . Напишите уравнение реакции взаимодействия этого основания с 1 моль ортофосфорной кислоты, назовите полученные соединения.

8. Укажите формулу дигидроортофосфата кальция: а)  $\text{CaHPO}_4$ ; б)  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ; в)  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ ; г)  $\text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$ . Напишите уравнение реакции его взаимодействия с 1 моль гидроксида кальция, назовите полученные соединения.

9. Выберите среди солей формулу, составленную правильно: а)  $\text{CaHPO}_4$ ; б)  $\text{Ba}(\text{HPO}_4)_2$ ; в)  $\text{BaCl}$ ; г)  $\text{MgNH}_4\text{PO}_4$ . Напишите уравнение реакции взаимодействия 1 моль данной соли с 1 моль гидроксида кальция, назовите полученные соединения.

10. У каких солей заряд кислотного остатка 2–: а) гидросульфид натрия; б) гидросульфит кальция; в) гидрофосфат калия; г) гидросульфат калия? Напишите уравнение реакции взаимодействия 1 моль выбранной соли с 1 моль гидроксида калия, назовите полученные соединения.

11. Не может образовывать кислую соль оксид, реагируя со щелочами: а) оксид фосфора (V); б) оксид серы (IV); в) оксид углерода (II); г) оксид азота (V). Напишите уравнение реакции 1 моль оксида серы (IV) с 1 моль гидроксида калия, назовите полученные соединения.

12. Какие из перечисленных кислот образуют кислые соли:  $\text{HI}$ ;  $\text{H}_2\text{S}$ ;  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ;  $\text{HNO}_3$ ? Приведите уравнения двух реакций образования таких солей. Назовите кислые соли.

13. Какие из перечисленных оснований (гидроксидов) образуют основные соли:  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ;  $\text{NaOH}$ ;  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ;  $\text{NH}_4\text{OH}$ ? Приведите уравнения двух реакций образования таких солей. Назовите основные соли.

14. Составьте уравнения реакций между кислотами и основаниями, приводящих к образованию солей:  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{NaHSO}_4$ ,  $(\text{ZnOH})_2\text{SO}_3$ . Назовите все соединения в уравнениях реакций.

15. Составьте уравнения реакций между кислотами и основаниями, приводящих к образованию солей:  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ,  $\text{AlOHCl}_2$ . Назовите все соединения в уравнениях реакций.

### Задачи II уровня

1. Определите массу и молярную массу эквивалента соли, полученной при взаимодействии 25 г соляной кислоты и 25 г карбоната натрия.

2. Определите массу и молярную массу эквивалента вещества, выпавшего в осадок, полученного при взаимодействии 13 г хлорида железа (II) и 15 г гидроксида натрия. Назовите полученные соединения.

3. Определите массу и молярную массу эквивалента соли, полученной при взаимодействии 5 г серной кислоты и 5 г сульфида натрия.

4. Определите массу и молярную массу эквивалента соли, полученной при взаимодействии 12 г азотной кислоты и 12 г карбоната натрия.

5. Рассчитайте молярную массу эквивалента веществ  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{NaHSO}_4$ ,  $(\text{ZnOH})_2\text{SO}_3$ .

6. Рассчитайте молярную массу эквивалента веществ  $\text{Ba}(\text{HPO}_4)_2$ ,  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ,  $\text{FePO}_4$ .

7. Рассчитайте молярную массу эквивалента веществ  $\text{Na}_2[\text{Ni}(\text{CN})_4]$ ,  $(\text{FeOH})_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ .

### Контрольные задачи

Составьте уравнение реакции взаимодействия веществ, укажите классы всех соединений и назовите их, а также определите молярную массу эквивалента  $M_3$  указанного вещества:

- 1 моль  $\text{HCl}$  и 1 моль  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ . Определите  $M_3(\text{Cu}(\text{OH})_2)$ .
- 1 моль  $\text{H}_2\text{S}$  и 1 моль  $\text{KOH}$ . Определите  $M_3(\text{H}_2\text{S})$ .
- 1 моль  $\text{HCl}$  и 1 моль  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Определите  $M_3(\text{Ca}(\text{OH})_2)$ .
- 1 моль  $\text{H}_3\text{PO}_4$  и 1 моль  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ . Определите  $M_3(\text{H}_3\text{PO}_4)$ .
- 1 моль  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и 2 моль  $\text{NH}_4\text{OH}$ . Определите  $M_3(\text{H}_2\text{SO}_4)$ .

6. 1 моль  $\text{HNO}_3$  и 1 моль  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ . Определите  $M_3(\text{Cu}(\text{OH})_2)$ .
7. 1 моль  $\text{H}_3\text{PO}_4$  и 2 моль  $\text{NaOH}$ . Определите  $M_3(\text{H}_3\text{PO}_4)$ .
8. 1 моль  $\text{H}_2\text{CO}_3$  и 1 моль  $\text{NaOH}$ . Определите  $M_3(\text{H}_2\text{CO}_3)$ .
9. 1 моль  $\text{CH}_3\text{COOH}$  и 1 моль  $\text{NaOH}$ . Определите  $M_3(\text{CH}_3\text{COOH})$ .
10. 1 моль  $\text{HCl}$  и 1 моль  $\text{Ni}(\text{OH})_2$ . Определите  $M_3(\text{Ni}(\text{OH})_2)$ .
11. 2 моль  $\text{HNO}_3$  и 1 моль  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ . Определите  $M_3(\text{Fe}(\text{OH})_2)$ .
12. 2 моль  $\text{HCl}$  и 1 моль  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ . Определите  $M_3(\text{Cu}(\text{OH})_2)$ .
13. 1 моль  $\text{H}_3\text{PO}_4$  и 1 моль  $\text{Al}(\text{OH})_3$ . Определите  $M_3(\text{Al}(\text{OH})_3)$ .
14. 1 моль  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и 1 моль  $\text{Zn}(\text{OH})_2$ . Определите  $M_3(\text{Zn}(\text{OH})_2)$ .
15. 1 моль  $\text{HCl}$  и 1 моль  $\text{Cr}(\text{OH})_3$ . Определите  $M_3(\text{Cr}(\text{OH})_3)$ .
16. 1 моль  $\text{HBr}$  и 1 моль  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ . Определите  $M_3(\text{Mg}(\text{OH})_2)$ .
17. 2 моль  $\text{HI}$  и 1 моль  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ . Определите  $M_3(\text{Fe}(\text{OH})_3)$ .
18. 1 моль  $\text{H}_2\text{SO}_3$  и 2 моль  $\text{NaOH}$ . Определите  $M_3(\text{H}_2\text{SO}_3)$ .
19. 1 моль  $\text{H}_2\text{S}$  и 1 моль  $\text{KOH}$ . Определите  $M_3(\text{H}_2\text{S})$ .
20. 1 моль  $\text{H}_2\text{SO}_3$  и 1 моль  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ . Определите  $M_3(\text{H}_2\text{SO}_3)$ .
21. 1 моль  $\text{HNO}_2$  и 1 моль  $\text{Ni}(\text{OH})_2$ . Определите  $M_3(\text{Ni}(\text{OH})_2)$ .
22. 1 моль  $\text{HF}$  и 1 моль  $\text{Sn}(\text{OH})_2$ . Определите  $M_3(\text{Sn}(\text{OH})_2)$ .
23. 1 моль  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и 1 моль  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ . Определите  $M_3(\text{H}_2\text{SO}_4)$ .
24. 1 моль  $\text{H}_3\text{PO}_4$  и 1 моль  $\text{Cr}(\text{OH})_3$ . Определите  $M_3(\text{Cr}(\text{OH})_3)$ .
25. 1 моль  $\text{HCl}$  и 1 моль  $\text{Mn}(\text{OH})_2$ . Определите  $M_3(\text{Mn}(\text{OH})_2)$ .
26. 1 моль  $\text{HBr}$  и 1 моль  $\text{Ba}(\text{OH})_2$ . Определите  $M_3(\text{Ba}(\text{OH})_2)$ .
27. 1 моль  $\text{HNO}_3$  и 1 моль  $\text{Zn}(\text{OH})_2$ . Определите  $M_3(\text{HNO}_3)$ .
28. 1 моль  $\text{HCl}$  и 1 моль  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ . Определите  $M_3(\text{Cu}(\text{OH})_2)$ .
29. 1 моль  $\text{H}_2\text{S}$  и 2 моль  $\text{NH}_4\text{OH}$ . Определите  $M_3(\text{H}_2\text{S})$ .
30. 1 моль  $\text{H}_3\text{PO}_4$  и 2 моль  $\text{KOH}$ . Определите  $M_3(\text{H}_3\text{PO}_4)$ .

## 2. СТРОЕНИЕ АТОМОВ И СВОЙСТВА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

### Типовые задачи и их решения

1. Главное квантовое число  $n = 3$ . Какие значения принимают орбитальное и магнитное квантовые числа?

**Решение.** Орбитальное квантовое число  $l$  принимает значения: 0, 1, 2, ...,  $(n - 1)$ , а магнитное  $m_l$ :  $-l, \dots, 0, \dots, +l$ . Следовательно, при  $n = 3$  орбитальное квантовое число будет иметь значения 0, 1, 2, что отвечает трем подуровням  $s$ -,  $p$ -,  $d$ - соответственно.

Магнитное квантовое число будет принимать следующие значения:

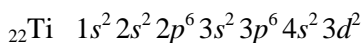
при  $l = 0$  ( $s$ -подуровень):  $m_l = 0$ ;

при  $l = 1$  ( $p$ -подуровень):  $m_l = -1, 0, +1$ ;

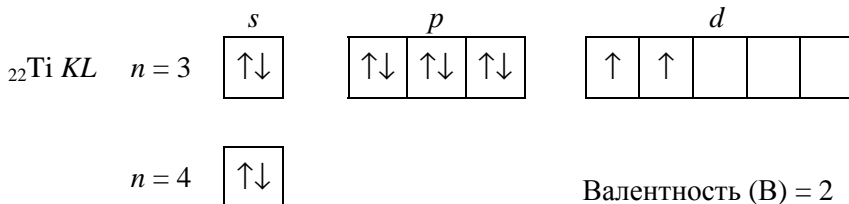
при  $l = 2$  ( $d$ -подуровень):  $m_l = -2, -1, 0, +1, +2$ .

2. Напишите электронную формулу и электронно-графические схемы в нормальном и возбужденном состояниях элемента с порядковым номером 22. К какому электронному семейству, периоду, группе, подгруппе он принадлежит? Почему? Укажите конкурирующие подуровни.

**Решение.** Элементом с порядковым номером 22 является титан (Ti). Электронная формула имеет вид:

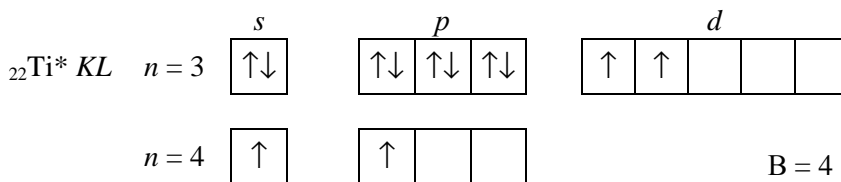


Два первых энергетических уровня ( $K, L$ ) полностью заполнены, поэтому электронно-графическую схему в нормальном состоянии записываем в сокращенном виде:



Валентность (В) = 2

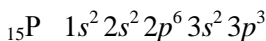
При возбуждении распариванию подвергаются электроны только внешнего ( $n = 4$ ) уровня. Тогда в возбужденном состоянии электронно-графическая схема выглядит так:



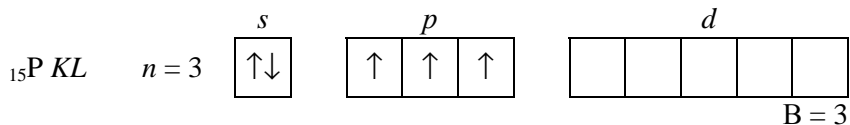
Титан относится к  $d$ -семейству, т. к. у него последним заполняется  $d$ -подуровень. Конкурирующими подуровнями являются  $4s$  и  $3d$ . Титан находится в четвертом периоде, т. к. заполняется четвертый энергетический уровень (максимальное значение  $n$  равно 4); в четвертой группе сумма электронов на конкурирующих подуровнях равна 4 ( $4s^2 3d^2$ ); в побочной подгруппе заполняются внешний и предвнешний энергетические уровни.

3. Сколько валентных электронов содержит атом с порядковым номером 15 в нормальном и возбужденном состояниях? Может ли этот атом иметь переменную спин-валентность?

**Решение.** Элементом с порядковым номером 15 является фосфор (P). Его электронная формула выглядит так:

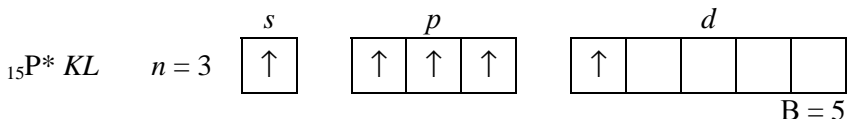


Фосфор имеет следующую электронно-графическую схему в нормальном состоянии:



Количество валентных (неспаренных) электронов равно 3 – валентность равна 3.

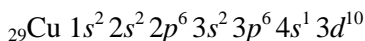
В возбужденном состоянии электронно-графическая схема выглядит следующим образом:



Количество валентных электронов равно 5, следовательно, валентность атома фосфора в возбужденном состоянии равна 5.

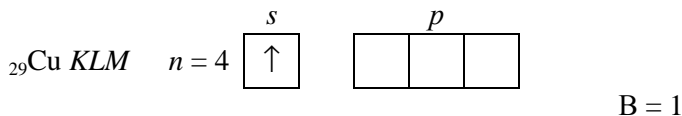
**4.** Напишите электронную формулу элемента с порядковым номером 29. Какая аномалия наблюдается в электронной структуре атома этого элемента, чем она объясняется? К какому электронному семейству принадлежит данный элемент? Почему?

**Решение.** Элементом с порядковым номером 29 является медь (Cu). Электронная формула имеет вид:



У меди наблюдается «провал» электрона с  $4s$ - на  $3d$ -подуровень, что обусловлено более выгодным энергетическим состоянием всего атома, т. к. система  $\dots 4s^1 3d^{10}$  имеет меньший запас энергии, чем система  $\dots 4s^2 3d^9$ .

Электронно-графическая схема меди в нормальном состоянии имеет вид:

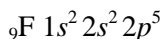


Элемент относится к  $d$ -семейству, т. к. последним заполняется  $3d$ -подуровень. Возбужденного состояния медь не имеет, так как на внешнем энергетическом уровне находится всего один электрон, поэтому способность к распариванию отсутствует.

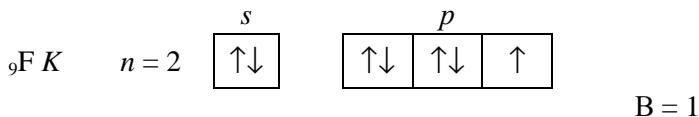
**5.** Объясните, почему фтор всегда имеет валентность равную 1, а хлор проявляет переменную нечетную валентность от 1 до 7?

**Решение.** Чтобы ответить на этот вопрос, необходимо обратиться к электронно-графическим схемам этих атомов в нормальном и возбужденном состояниях.

Электронная формула атома фтора имеет вид:

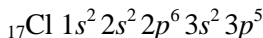


Электронно-графическая схема в нормальном состоянии:

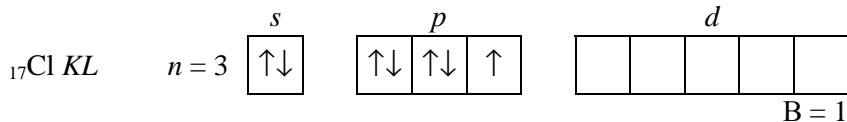


У атома фтора возбужденного состояния не может быть, т. к. на  $2p$ -подуровне нет свободных атомных орбиталей (ячеек) и нет возможности распаривания электронов, поскольку на втором энергетическом уровне имеются только  $s$ - и  $p$ - энергетические подуровни.

Электронная формула атома хлора имеет вид:

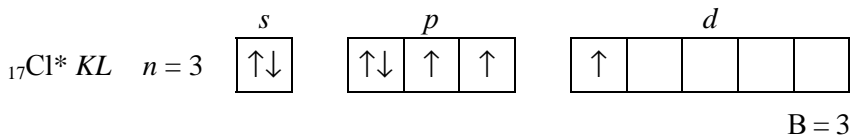


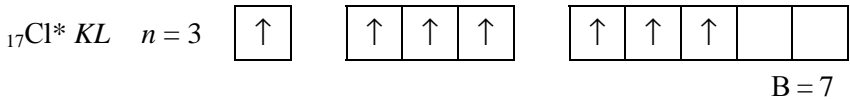
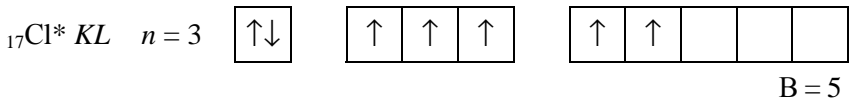
Электронно-графическая схема в нормальном состоянии:



В нормальном состоянии хлор имеет один неспаренный электрон, т. е. его валентность  $\text{В} = 1$ .

У хлора могут быть возбужденные состояния, поскольку последним заполняется третий энергетический уровень, который имеет  $s$ -,  $p$ -,  $d$ -энергетические подуровни. На  $d$ -подуровне есть свободные атомные орбитали (ячейки), которые при возбуждении атома могут быть заполнены электронами с  $3s$ - и  $3p$ -подуровней:



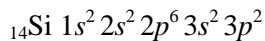


Видно, что хлор имеет три возбужденных состояния и в этих возбужденных состояниях может проявлять переменную валентность 3, 5, 7.

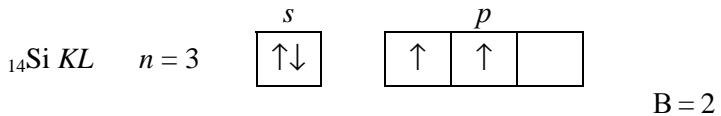
6. Охарактеризуйте атом кремния по его положению в Периодической системе химических элементов Д. И. Менделеева.

**Решение.** Кремний (Si) имеет порядковый номер 14, следовательно, заряд атомного ядра  $Z = +14$ . Соответственно, в атоме кремния 14 протонов и столько же электронов. Количество нейтронов ( $N_n$ ) считается по разнице между атомной массой ( $A = 28$ ) и порядковым номером ( $N_{\text{пор}} = Z$ ):  $N_n = A - N_{\text{пор}}(Z) = 28 - 14 = 14$ .

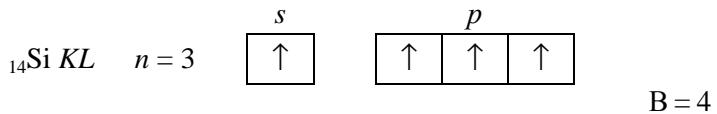
Электронная формула атома кремния:



Электронно-графическая схема в нормальном состоянии:



Электронно-графическая схема в возбужденном состоянии:



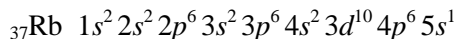
Валентные электроны находятся на  $s$ - и  $p$ -подуровнях третьего энергетического уровня. Кремний проявляет в нормальном состоянии валентность равную 2, а в возбужденном – 4 (количество неспаренных электронов).



Кремний находится в 3 периоде (максимальное значение главного квантового числа  $n = 3$ ), IV группе (максимальная сумма валентных электронов равна 4), главной подгруппе (заполняется внешний уровень). Кремний принадлежит к  $p$ -семейству (последним заполняется  $p$ -подуровень). Кремний можно отнести к неметаллам.

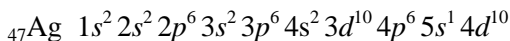
7. У элементов 5 периода I группы с порядковыми номерами 37 и 47 имеется одинаковая электронная конфигурация внешнего пятого уровня. Почему эти элементы находятся в разных подгруппах? Ответ мотивируйте электронными формулами атомов этих элементов. Определите принадлежность данных элементов к электронному семейству. Какими свойствами обладают атомы этих элементов?

**Решение.** Элемент с порядковым номером 37 – рубидий (Rb). Его электронная формула выглядит так:



Элемент находится в главной подгруппе, т. к. идет заполнение  $s$ -подуровня внешнего уровня с  $n = 5$ . Рубидий относится к  $s$ -семейству.

Элемент с порядковым номером 47 – серебро (Ag). Электронная формула:

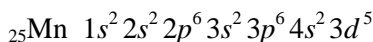


Серебро находится в побочной подгруппе, т. к. идет заполнение внешнего и предвнешнего энергетических уровней (конкурирующих подуровней). У серебра наблюдается «провал» электрона с  $5s$ - на  $4d$ -подуровень, что объясняется более выгодным энергетическим состоянием атома в такой конфигурации (минимальный запас энергии). Серебро относится к  $d$ -семейству, т. к. последним заполняется  $d$ -подуровень.

Эти элементы обладают восстановительными свойствами (металлическими).

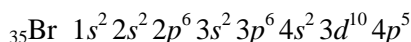
8. Марганец (Mn) и бром (Br) находятся в 4 периоде, в VII группе. На основании электронных формул атомов этих элементов определите их принадлежность к электронным семействам. Объясните, почему эти элементы находятся в разных подгруппах и обладают противоположными свойствами?

**Решение.** Электронная формула атома марганца:



Он принадлежит к  $d$ -семейству, находится в побочной подгруппе (поскольку идет заполнение конкурирующих энергетических подуровней (внешнего и предвнешнего уровней)). Марганец проявляет восстановительные (металлические) свойства, т. к. на последнем (четвертом) энергетическом уровне имеется 2 электрона, которые он легко может отдать.

Электронная формула атома брома:

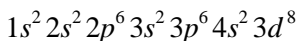


Он принадлежит к  $p$ -семейству, находится в главной подгруппе, т. к. у него идет заполнение электронами последнего четвертого уровня ( $4s^2 4p^5$ ). Бром до полного заполнения  $4p$ -подуровня необходим 1 электрон, который он легко присоединяет и, следовательно, проявляет окислительные (неметаллические) свойства.

9. Запишите электронную формулу атома элемента, заканчивающуюся в нормальном состоянии подуровнем, которому соответствуют следующие квантовые числа:  $n = 3$ ;  $l = 2$ ;  $m_l = -2, -1, 0, +1, +2$ ;  $m_s = +1/2, +1/2, +1/2, +1/2, +1/2, -1/2, -1/2, -1/2$ .

Определите элемент, его положение в периодической системе, свойства.

**Решение.** Окончание электронной формулы атома будет  $3d^8$ , т. к. заполняется 3 энергетический уровень ( $n = 3$ ),  $d$ -подуровень ( $l = 2$ ), а количество электронов равно 8 (дано восемь значений спинового квантового числа  $m_s$ ). Запишем электронную формулу:

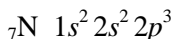


Сумма всех электронов у данного атома равна 28, что соответствует порядковому номеру элемента. Этим элементом является никель (Ni).

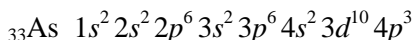
Никель расположен в 4 периоде (максимальное значение  $n$  равно 4), VIII группе, побочной подгруппе (заполняются конкурирующие энергетические подуровни). Относится к  $d$ -семейству. Обладает восстановительными (металлическими) свойствами.

**10.** У какого элемента – азота (N) или мышьяка (As) – более выражены окислительные (неметаллические) свойства? Дайте обоснованный ответ, исходя из электронной структуры, радиуса и энергии ионизации атомов этих элементов.

**Решение.** Электронная формула азота имеет вид:



Электронная формула мышьяка имеет вид:



Исходя из электронных конфигураций атомов, можно сделать вывод, что радиус атома мышьяка больше, чем атома азота, т. к. у мышьяка идет заполнение четвертого энергетического уровня ( $n = 4$ ), а у азота – второго ( $n = 2$ ). Азоту легче, чем мышьяку, присоединить 3 электрона, недостающие до завершения второго (внешнего) энергетического уровня. Следовательно, азот будет в большей степени проявлять окислительные свойства, чем мышьяк. Об этом свидетельствуют и величины энергий ионизации: необходимо затратить больше энергии для отрыва электрона от атома азота ( $E_{\text{и}}(\text{N}) = 14,54$  эВ), чем от атома мышьяка ( $E_{\text{и}}(\text{As}) = 9,81$  эВ).

### Задачи I уровня

**1.** Запишите электронную формулу атома железа и объясните, исходя из электронного строения, его принадлежность к четвертому периоду, восьмой группе, побочной подгруппе,  $d$ -электронному семейству. Составьте электронно-графические схемы атома железа в нормальном и возбужденном состояниях.

**2.** Запишите электронную формулу атома алюминия и объясните, исходя из электронного строения, его принадлежность к третьему периоду, третьей группе, главной подгруппе,  $p$ -электронному семейству. Составьте электронно-графические схемы атома алюминия в нормальном и возбужденном состояниях.

**3.** Запишите электронную формулу атома магния и объясните, исходя из электронного строения, его принадлежность к третьему

периоду, второй группе, главной подгруппе, *s*-электронному семейству. Составьте электронно-графические схемы атома магния в нормальном и возбужденном состояниях.

**4.** Запишите электронную формулу атома никеля и объясните, исходя из электронного строения, его принадлежность к четвертому периоду, восьмой группе, побочной подгруппе, *d*-электронному семейству. Составьте электронно-графические схемы атома никеля в нормальном и возбужденном состояниях.

**5.** Запишите электронную формулу атома серы и объясните, исходя из электронного строения, ее принадлежность к третьему периоду, шестой группе, главной подгруппе, *p*-электронному семейству. Составьте электронно-графические схемы атома серы в нормальном и возбужденном состояниях.

**6.** Запишите электронную формулу атома цинка и объясните, исходя из электронного строения, его принадлежность к четвертому периоду, второй группе, побочной подгруппе, *d*-электронному семейству. Составьте электронно-графические схемы атома цинка в нормальном и возбужденном состояниях.

**7.** Запишите электронную формулу атома брома и объясните, исходя из электронного строения, его принадлежность к четвертому периоду, седьмой группе, главной подгруппе, *p*-электронному семейству. Составьте электронно-графические схемы атома брома в нормальном и возбужденном состояниях.

**8.** Запишите электронную формулу атома скандия и объясните, исходя из электронного строения, его принадлежность к четвертому периоду, третьей группе, побочной подгруппе, *d*-электронному семейству. Составьте электронно-графические схемы атома скандия в нормальном и возбужденном состояниях.

**9.** Запишите электронную формулу атома селена и объясните, исходя из электронного строения, его принадлежность к четвертому периоду, шестой группе, главной подгруппе, *p*-электронному семейству. Составьте электронно-графические схемы атома селена в нормальном и возбужденном состояниях.

**10.** Запишите электронную формулу атома марганца и объясните, исходя из электронного строения, его принадлежность к четвертому периоду, седьмой группе, побочной подгруппе, *d*-электронному семейству. Составьте электронно-графические схемы атома марганца в нормальном и возбужденном состояниях.

**11.** Запишите электронную формулу атома германия и объясните, исходя из электронного строения, его принадлежность к четвертому периоду, четвертой группе, главной подгруппе, *p*-электронному семейству. Составьте электронно-графические схемы атома германия в нормальном и возбужденном состояниях.

**12.** Запишите электронную формулу атома ванадия и объясните, исходя из электронного строения, его принадлежность к четвертому периоду, пятой группе, побочной подгруппе, *d*-электронному семейству. Составьте электронно-графические схемы атома ванадия в нормальном и возбужденном состояниях.

**13.** Запишите электронную формулу атома кальция и объясните, исходя из электронного строения, его принадлежность к четвертому периоду, второй группе, главной подгруппе, *s*-электронному семейству. Составьте электронно-графические схемы атома кальция в нормальном и возбужденном состояниях.

**14.** Запишите электронную формулу атома кобальта и объясните, исходя из электронного строения, его принадлежность к четвертому периоду, восьмой группе, побочной подгруппе, *d*-электронному семейству. Составьте электронно-графические схемы атома кобальта в нормальном и возбужденном состояниях.

**15.** Запишите электронную формулу атома галлия и объясните, исходя из электронного строения, его принадлежность к четвертому периоду, третьей группе, главной подгруппе, *p*-электронному семейству. Составьте электронно-графические схемы атома галлия в нормальном и возбужденном состояниях.

## Задачи II уровня

**1.** Электронное строение атома элемента в нормальном состоянии заканчивается подуровнем со следующими квантовыми числами:  $n = 5$ ;  $l = 1$ ;  $m_l = -1, 0, +1$ ;  $m_s = +1/2, +1/2$ . Дайте характеристику квантовым числам. Запишите полную электронную формулу атома. Определите элемент. К какому электронному семейству он принадлежит? Определите спин-валентность данного атома в нормальном и возбужденном состояниях, записав электронно-графические схемы. Какими свойствами обладает атом этого элемента и почему?

2. Запишите электронную формулу атома элемента, электронное строение которого в нормальном состоянии заканчивается следующими квантовыми числами:  $n = 3$ ;  $l = 2$ ;  $m_l = -2, -1, 0, +1, +2$ ;  $m_s = +1/2, +1/2, +1/2$ . Определите данный элемент. Запишите его электронно-графические схемы в нормальном и возбужденном состояниях. Какую максимальную валентность может проявлять данный элемент?

3. Назовите квантовые числа, характеризующие состояние электрона в атоме. Объясните, как отражены эти числа в структуре электронного подуровня  $5p^5$ . Запишите полную электронную формулу. Определите элемент. Запишите электронно-графические схемы атома в нормальном и возбужденном состояниях. Какими свойствами обладает атом данного элемента?

4. Электронное строение атома элемента в нормальном состоянии заканчивается подуровнем со следующими квантовыми числами:  $n = 4$ ;  $l = 1$ ;  $m_l = -1, 0, +1$ ;  $m_s = +1/2, +1/2, +1/2, -1/2$ . Дайте характеристику квантовым числам. Запишите полную электронную формулу атома. Определите элемент. К какому электронному семейству он принадлежит? Определите спин-валентность данного атома в нормальном и возбужденном состояниях, записав электронно-графические схемы. Какими свойствами обладает атом этого элемента и почему?

5. Назовите квантовые числа, характеризующие состояние электрона в атоме. Объясните, как отражены эти числа в структуре электронного подуровня  $4d^2$ . Запишите электронную формулу атома. Определите элемент. Запишите электронно-графические схемы атома в нормальном и возбужденном состояниях. Какими свойствами обладает атом данного элемента?

6. Назовите квантовые числа, характеризующие состояние электрона в атоме. Объясните, как отражены эти числа в структуре электронного подуровня  $5p^2$ . Запишите электронную формулу атома. Определите элемент. Запишите электронно-графические схемы атома в нормальном и возбужденном состояниях. Какими свойствами обладает атом данного элемента?

7. Назовите квантовые числа, характеризующие состояние электрона в атоме. Объясните, как отражены эти числа в структуре электронного подуровня  $4s^2$ . Запишите полную электронную формулу атома. Определите элемент. Запишите электронно-

графические схемы атома в нормальном и возбужденном состояниях. Какими свойствами обладает атом данного элемента?

### Контрольные задачи

1. Медь и калий находятся в I группе Периодической системы. Запишите электронные формулы и электронно-графические схемы атомов этих элементов. Объясните, почему атомы этих элементов не имеют возбужденного состояния. Чем объясняется «провал» электрона у атома меди? К какому электронному семейству они относятся? Как изменяются радиус и свойства атомов элементов в главной подгруппе I группы?

2. Сера и хром находятся в VI группе Периодической системы. Объясните, почему хром проявляет восстановительные (металлические), а сера – окислительные (неметаллические) свойства? Дайте обоснованный ответ, исходя из электронного строения атомов этих элементов, их электроотрицательности. К каким электронным семействам принадлежат сера и хром? Имеют ли атомы этих элементов возбужденные состояния? Ответ подтвердите, написав их электронно-графические схемы. Чем объясняется «провал» электрона у атома хрома?

3. Алюминий и скандий находятся в III группе, но в разных подгруппах. Почему? Объясните, написав их электронные формулы и электронно-графические схемы в нормальном и возбужденном состояниях. К каким электронным семействам они относятся? Какими свойствами обладают атомы этих элементов?

4. Кремний и германий находятся в главной подгруппе IV группы Периодической системы. Почему? Объясните, записав электронные формулы и электронно-графические схемы атомов этих элементов в нормальном и возбужденном состояниях. К какому электронному семейству они принадлежат? Как и почему изменяются свойства элементов главной подгруппы IV группы?

5. Фтор и бром находятся в главной подгруппе VII группы Периодической системы, имеют одинаковую электронную конфигурацию внешнего уровня  $ns^2np^5$ . Исходя из строения атомов этих элементов, их радиусов, электроотрицательностей, объясните, какой из них, фтор или бром проявляет в большей степени окислительные

свойства? Почему фтор проявляет валентность равную только 1, а бром может иметь переменную: 1, 3, 5, 7? Ответ поясните, написав их электронные формулы и электронно-графические схемы в нормальном и возбужденных состояниях.

**6.** Углерод и титан находятся в IV группе Периодической системы. Определите их валентность в нормальном и возбужденном состояниях, принадлежность к электронным семействам на основании электронных формул и электронно-графических схем атомов элементов. Объясните, почему атомы этих элементов находятся в разных подгруппах и обладают противоположными свойствами.

**7.** Натрий и хлор находятся в третьем периоде Периодической системы, но в разных группах. Почему? Объясните, написав электронные формулы и электронно-графические схемы атомов этих элементов. К каким электронным семействам они относятся? Объясните, почему атом хлора может иметь переменную валентность. Как изменяются радиус и свойства атомов элементов третьего периода?

**8.** Германий и свинец находятся в главной подгруппе IV группы, имеют одинаковую конфигурацию внешнего энергетического уровня:  $ns^2np^2$ . На основании электронного строения атомов этих элементов объясните изменение радиуса, электроотрицательности и свойств в главной подгруппе. Какую валентность могут проявлять атомы этих элементов в нормальном и возбужденном состояниях? Ответ поясните, написав их электронно-графические схемы.

**9.** У какого элемента – фосфора или сурьмы – более выражены окислительные (неметаллические) свойства? Дайте обоснованный ответ, исходя из электронной структуры атомов, их радиусов, электроотрицательностей. Какую валентность могут иметь атомы данных элементов в нормальном и возбужденном состояниях? Ответ обоснуйте электронно-графическими схемами. К какому электронному семейству принадлежат эти элементы? Почему?

**10.** Фосфор и ванадий находятся в V группе, но в разных подгруппах. Почему? Объясните, написав электронные формулы и электронно-графические схемы атомов данных элементов в нормальном и возбужденном состояниях. К каким электронным семействам они относятся? Какими свойствами обладают атомы этих элементов и почему?



**11.** Почему углерод и олово находятся в главной подгруппе IV группы, а обладают противоположными свойствами? Дайте обоснованный ответ, исходя из их электронного строения, радиусов атомов, электроотрицательностей. Могут ли атомы этих элементов проявлять валентность, равную номеру группы, в которой находятся? Ответ поясните, написав их электронно-графические схемы.

**12.** Азот и сурьма находятся в главной подгруппе V группы Периодической системы. Почему? Объясните, написав электронные формулы атомов этих элементов. Изменяется ли валентность этих атомов в возбужденном состоянии? Поясните, написав электронно-графические схемы атомов в нормальном и возбужденном состояниях. Как изменяются свойства атомов в главной подгруппе V группы и почему?

**13.** Кислород и селен находятся в главной подгруппе VI группы Периодической системы. Почему кислород имеет постоянную валентность равную 2, а селен может иметь переменную валентность равную 2, 4, 6? Объясните, написав электронные формулы и электронно-графические схемы атомов данных элементов. Как изменяются радиус и свойства атомов элементов в главной подгруппе VI группы?

**14.** Марганец и хлор находятся в VII группе, но в разных подгруппах. Почему? Запишите электронные формулы и электронно-графические схемы атомов этих элементов. К каким электронным семействам они относятся? Какими свойствами они обладают и почему?

**15.** Натрий и серебро находятся в I группе, но в разных подгруппах. Почему? Объясните, написав электронные формулы атомов этих элементов. Учтите, что у одного из атомов имеется «провал» электрона. К каким электронным семействам они принадлежат? Какими свойствами они обладают?

**16.** На основании электронных формул и электронно-графических схем объясните постоянную валентность у атома кислорода и переменную – у атома серы, находящихся в главной подгруппе VI группы.

**17.** На примере атомов элементов второго периода Периодической системы объясните изменение радиуса электроотрицательности, восстановительных и окислительных свойств, написав их электронные формулы и электронно-графические схемы.

**18.** У атома какого элемента – магния или бария – более выражены восстановительные свойства? Дайте обоснованный ответ, исходя из электронной структуры, радиуса, электроотрицательности атомов.

**19.** На примере любых двух *p*-элементов четвертого периода объясните изменение радиусов атомов, электроотрицательностей, их свойств. Ответ дайте на основании строения атомов этих элементов, написав их электронные формулы и электронно-графические схемы.

**20.** Объясните периодичность изменения свойств атомов элементов:  $\text{Li} \rightarrow \text{Na} \rightarrow \text{K}$ . Напишите их электронные формулы. Как у них изменяются радиус, энергия ионизации и сродство к электрону, электроотрицательность, свойства? Объясните, почему атомы этих элементов не имеют возбужденного состояния.

**21.** Объясните периодичность изменения свойств атомов элементов:  $\text{C} \rightarrow \text{Si} \rightarrow \text{Ge}$ . Напишите их электронные формулы и электронно-графические схемы атомов в нормальном и возбужденном состояниях. Как у них изменяются радиус, энергия ионизации и сродство к электрону, электроотрицательность, свойства?

**22.** Объясните периодичность изменения свойств атомов элементов:  $\text{Be} \rightarrow \text{Mg} \rightarrow \text{Ca}$ . Напишите их электронные формулы и электронно-графические схемы атомов в нормальном и возбужденном состояниях. Как у них изменяются радиус, энергия ионизации и сродство к электрону, электроотрицательность, свойства?

**23.** Объясните периодичность изменения свойств атомов элементов:  $\text{F} \rightarrow \text{Cl} \rightarrow \text{Br}$ . Напишите их электронные формулы и электронно-графические схемы атомов в нормальном и возбужденном состояниях. Как у них изменяются радиус, энергия ионизации и сродство к электрону, электроотрицательность, свойства?

**24.** Электронные формулы атомов двух элементов заканчиваются  $5s^25p^4$  и  $4d^35s^1$  подуровнями соответственно. Напишите полные электронные формулы атомов этих элементов. Определите их. Объясните, почему они находятся в одном периоде, в одной группе, но в разных подгруппах? К каким электронным семействам относятся атомы этих элементов? Запишите электронно-графические схемы атомов данных элементов в нормальном и возбужденном состояниях. Учтите, что у одного из атомов имеется «провал» электрона. Какими свойствами обладают атомы этих элементов и почему?

**25.** Напишите электронные формулы атомов элементов с порядковыми номерами 23 и 33. К каким электронным семействам они относятся? Почему элемент с порядковым номером 33 находится в главной подгруппе, а элемент под номером 23 – в побочной? Запишите электронно-графические схемы атомов этих элементов в нормальном и возбужденном состояниях. Какими свойствами обладают атомы этих элементов и почему?

**26.** Напишите электронные формулы атомов элементов с порядковыми номерами 21 и 31. К каким электронным семействам они относятся? Почему элемент с порядковым номером 31 находится в главной подгруппе, а элемент под номером 21 – в побочной? Запишите электронно-графические схемы атомов этих элементов в нормальном и возбужденном состояниях. Какими свойствами обладают атомы этих элементов и почему?

**27.** Напишите электронные формулы атомов элементов с порядковыми номерами 13 и 49. К каким электронным семействам они относятся? Почему оба элемента относятся к главной подгруппе? Запишите электронно-графические схемы атомов этих элементов в нормальном и возбужденном состояниях. Какими свойствами обладают атомы этих элементов и почему?

**28.** Напишите электронные формулы атомов элементов с порядковыми номерами 35 и 43. К каким электронным семействам они относятся? Почему элемент с порядковым номером 35 находится в главной подгруппе, а элемент под номером 43 – в побочной? Запишите электронно-графические схемы атомов этих элементов в нормальном и возбужденных состояниях. Какими свойствами обладают атомы этих элементов и почему?

**29.** Чем обусловлено значительное сходство свойств *d*-элементов? Ответ подтвердите двумя примерами *d*-элементов четвертого периода Периодической системы, написав электронные формулы и электронно-графические схемы атомов данных элементов в нормальном и возбужденном состояниях.

**30.** Как изменяются свойства атомов элементов с увеличением порядковых номеров в периодах Периодической системы? Ответ подтвердите примерами элементов третьего периода Периодической системы, написав их электронные формулы и электронно-графические схемы в нормальном и возбужденном состояниях.

### 3. ХИМИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ И СТРОЕНИЕ МОЛЕКУЛ. КОМПЛЕКСНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

#### Типовые задачи и их решения

1. Определите тип связи в следующих молекулах: а) KCl, б) AgCl и в) металлический K. Объясните механизмы образования этих связей.

**Решение:**

а) природа атомов элементов, составляющих молекулу KCl: K – металл, s-семейство; Cl – неметалл, p-семейство.

Величины относительной электроотрицательности (ОЭО) атомов: ОЭО (K) = 0,91; ОЭО (Cl) = 2,83.

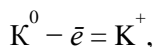
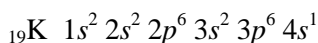
Определяем разность ОЭО атомов:

$$\Delta\text{ОЭО} = 2,83 - 0,91 = 1,92 > 1,7,$$

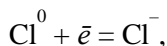
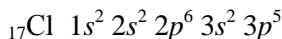
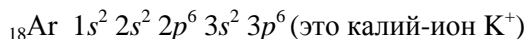
следовательно, связь ионная.

Ионная связь – химическая связь, возникающая в результате электростатического притяжения противоположно заряженных ионов (катионов и анионов).

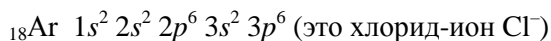
*Механизм образования ионной связи для молекулы KCl:*



следовательно, у иона калия формируется устойчивая электронная структура, подобная электронной структуре атома аргона [Ar]:



следовательно, у иона хлора также формируется устойчивая электронная структура, подобная электронной структуре атома аргона [Ar]:



Следовательно, механизм образования ионной связи – перераспределение валентных электронов.

Свойствами ионной связи являются ненасыщаемость и ненаправленность. Вещество имеет кристаллическую решетку ионного типа, которая схематически может быть представлена на рис. 1.

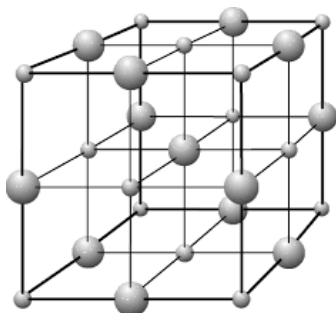


Рис. 1. Схема кристаллической решетки ионного кристалла KCl.  
Малые сферы изображают  $\text{K}^+$ , большие –  $\text{Cl}^-$

б) природа атомов элементов молекулы AgCl: Ag – металл, *d*-семейство; Cl – неметалл, *p*-семейство.

Величины относительной электроотрицательности атомов:  
ОЭО (Ag) = 1,42; ОЭО (Cl) = 2,83.

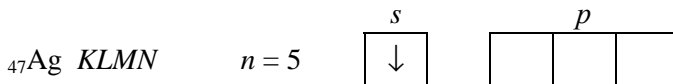
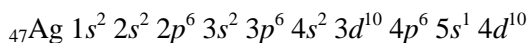
Тогда

$$\Delta\text{ОЭО} = 2,83 - 1,42 = 1,41 < 1,7;$$

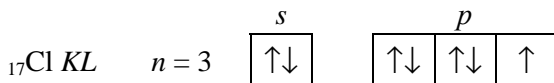
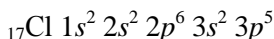
следовательно, связь ковалентная полярная.

Ковалентная связь образуется двумя неспаренными электронами с антипараллельными спинами от двух атомов; при этом происходит обобществление электронов, т. е. образуется общая электронная пара, принадлежащая одновременно двум атомам.

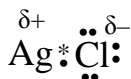
Механизм образования ковалентной связи для молекулы AgCl: атом серебра имеет «провал» электрона с 5s- на 4d-подуровень, в результате чего 5s-подуровень имеет один неспаренный электрон:



У атома хлора один валентный (неспаренный) электрон находится на 3p-подуровне:



В данном случае общая электронная пара смещена к хлору, т. к. ОЭО (Cl) больше ОЭО (Ag):



где \* – неспаренный электрон внешнего уровня атома серебра;

· – электроны внешнего уровня атома хлора, в т. ч. и неспаренный.

Свойства ковалентной связи – насыщенность и направленность. В случае AgCl насыщенность равна 1, направленность определяет линейную форму молекулы;

в) в металлическом калии (K) реализуется металлическая связь.

В кристалле металла в узлах находятся атомы и ионы. Атомы легко превращаются в ионы, отдавая свои валентные электроны, которые перемещаются по всему кристаллу. Межатомное пространство заполняется свободными электронами, осуществляющими связь между атомами K и/или ионами K<sup>+</sup> (рис. 2).

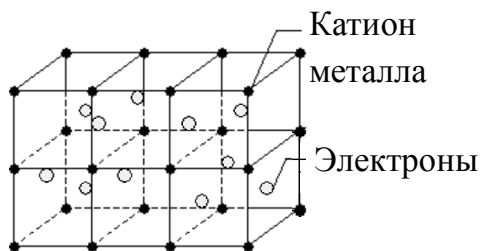


Рис. 2. Схема образования металлической связи

2. Определите типы связи в молекулах: а)  $\text{MgCl}_2$ , б)  $\text{AlBr}_3$  и в)  $\text{CH}_4$ . Объясните механизм образования связей и их свойства. Какой тип гибридизации приводит к образованию молекул?

**Решение:**

а) природа атомов элементов в молекуле  $\text{MgCl}_2$ : Mg – металл,  $s$ -семейство; Cl – неметалл,  $p$ -семейство.

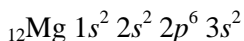
Величины относительной электроотрицательности (ОЭО) атомов: ОЭО (Mg) = 1,23; ОЭО (Cl) = 2,83.

Определяем разность ОЭО атомов, образующих химические связи в молекуле  $\text{MgCl}_2$ :

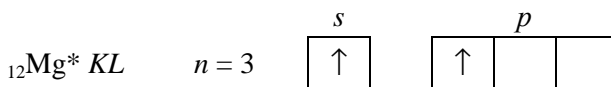
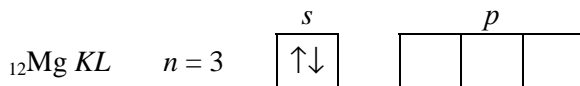
$$\Delta\text{ОЭО} = 2,83 - 1,23 = 1,6 < 1,7,$$

следовательно, связи ковалентные полярные.

Электронная формула атома магния:



Электронно-графические схемы атома магния в нормальном и возбужденном состояниях:



Тип гибридизации –  $sp$  (рис. 3).

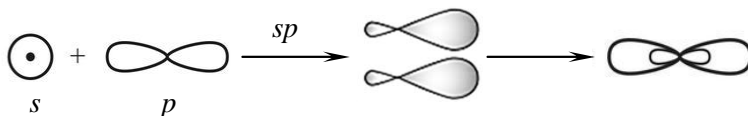
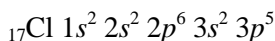
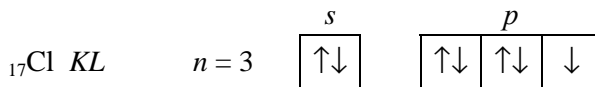


Рис. 3. Схема  $sp$ -гибридизации

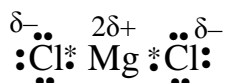
Электронная формула атома хлора:



Электронно-графическая схема в нормальном состоянии имеет вид:



Механизм образования ковалентной полярной связи: обобществление валентных (неспаренных) электронов в общие электронные пары:



Общие электронные пары смещены к более электроотрицательному атому – хлору. На атоме магния возникает эффективный положительный ( $2\delta^+$ ), а на атомах хлора – эффективные отрицательные ( $\delta^-$ ) заряды.

Свойства:

- насыщаемость (ковалентность) равна 2, т. к. образовались две общие пары электронов;
- направленность определяет линейную форму молекулы (рис. 4).

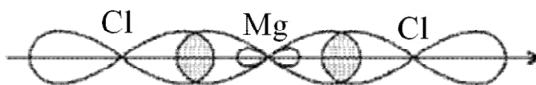


Рис. 4. Линейная форма молекулы  $\text{MgCl}_2$



б) природа атомов элементов в молекуле  $\text{AlBr}_3$ : Al – металл,  $p$ -семейство; Br – неметалл,  $p$ -семейство.

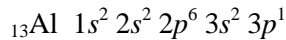
Величины относительной электроотрицательности (ОЭО) атомов: ОЭО (Al) = 1,47; ОЭО (Br) = 2,74.

Определяем разность ОЭО атомов, образующих химические связи в молекуле  $\text{AlBr}_3$ :

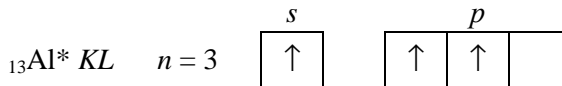
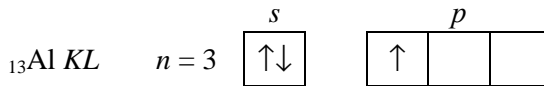
$$\Delta\text{ОЭО} = 2,74 - 1,47 = 1,27 < 1,7,$$

следовательно, связи ковалентные полярные.

Электронная формула атома алюминия:



Электронно-графические схемы атома алюминия в нормальном и возбужденном состояниях:



Тип гибридизации –  $sp^2$  (рис. 5).

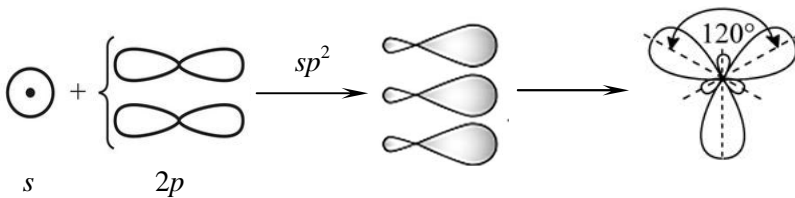
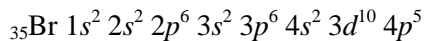
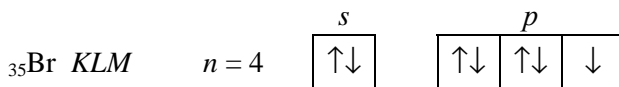


Рис. 5. Схема  $sp^2$ -гибридизации

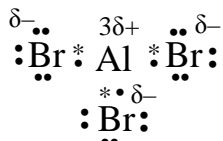
Электронная формула атома брома:



Электронно-графическая схема в нормальном состоянии:



Механизм образования ковалентной полярной связи: обобществление валентных (неспаренных) электронов в общие электронные пары:



Общие электронные пары смещены к более электроотрицательному атому – бромю. На атоме алюминия возникает эффективный положительный ( $3\delta^+$ ), а на атомах брома – эффективные отрицательные ( $\delta^-$ ) заряды.

Свойства:

- насыщенность (ковалентность) равна 3, т. к. образовались три общие пары электронов;
- направленность определяет треугольную плоскую форму молекулы  $\text{AlBr}_3$  (рис. 6).

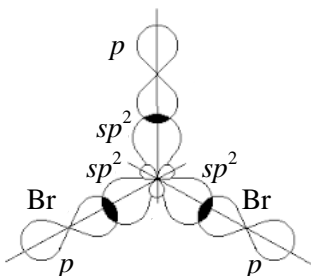


Рис. 6. Треугольная форма молекулы  $\text{AlBr}_3$

в) природа атомов элементов в молекуле  $\text{CH}_4$ : С – неметалл,  $p$ -семейство; Н – неметалл,  $s$ -семейство.

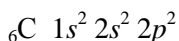
Величины относительной электроотрицательности (ОЭО) атомов:  
 ОЭО (C) = 2,50; ОЭО (H) = 2,20.

Определяем разность ОЭО атомов, образующих химические связи в молекуле  $\text{CH}_4$ :

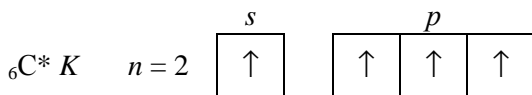
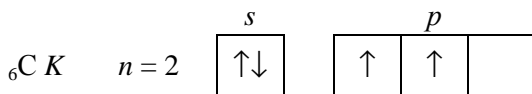
$$\Delta\text{ОЭО} = 2,50 - 2,20 = 0,30 < 0,40,$$

следовательно, связи ковалентные неполярные.

Электронная формула атома углерода:



Электронно-графические схемы атома углерода в нормальном и возбужденном состояниях:



Тип гибридизации –  $sp^3$  (рис. 7).

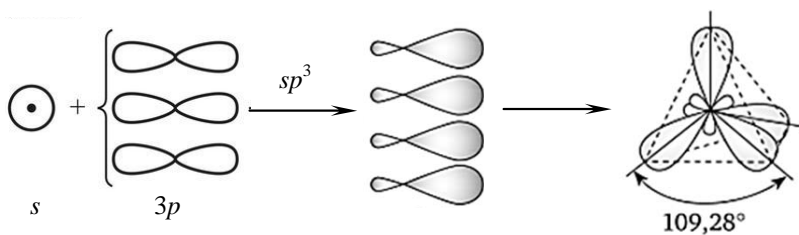
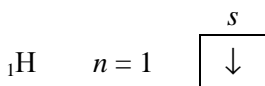


Рис. 7. Схема  $sp^3$ -гибридизации

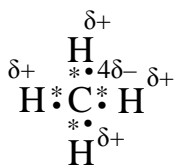
Электронная формула атома водорода:



Электронно-графическая схема в нормальном состоянии:



Механизм образования ковалентной неполярной связи: обобществление валентных (неспаренных) электронов в общие электронные пары:



Общие электронные пары смещены к более электроотрицательному элементу – углероду. На атомах водорода возникают эффективные положительные ( $\delta^+$ ), а на атоме углерода – эффективный отрицательный ( $4\delta^-$ ) заряды.

Свойства:

- насыщенность (ковалентность) равна 4, т. к. образовались четыре общие пары электронов;
- направленность определяет тетраэдрическую форму молекулы (рис. 8).

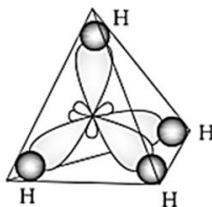


Рис. 8. Тетраэдрическая форма молекулы  $\text{CH}_4$

3. Определите тип связи в молекуле  $\text{AsH}_3$  и ее форму. Почему между молекулами  $\text{AsH}_3$  не возникает водородная связь?

**Решение.** Природа атомов элементов в молекуле  $\text{AsH}_3$ : As – неметалл,  $p$ -семейство; H – неметалл,  $s$ -семейство.

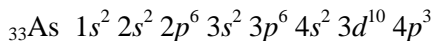
Величины относительной электроотрицательности (ОЭО) атомов:  
 ОЭО (As) = 2,20; ОЭО (H) = 2,20.

Определяем разность ОЭО атомов, образующих химические связи в молекуле AsH<sub>3</sub>:

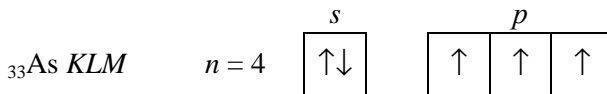
$$\Delta\text{ОЭО} = 2,20 - 2,20 = 0 < 0,40,$$

следовательно, связи ковалентные неполярные.

Электронная формула атома мышьяка:



Электронно-графическая схема в нормальном состоянии:



Форма молекулы пирамидальная (рис. 9).

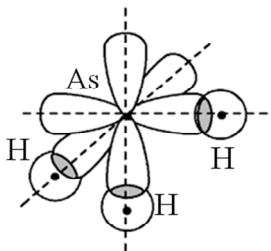


Рис. 9. Пирамидальная форма молекулы AsH<sub>3</sub>

Поскольку в молекуле AsH<sub>3</sub> имеется ковалентная неполярная связь и нет сильно электроотрицательного атома (N, O, F), то между молекулами AsH<sub>3</sub> не возникает водородная связь.

**4.** Охарактеризуйте вид межмолекулярных взаимодействий при растворении в воде сероводорода H<sub>2</sub>S и кислорода O<sub>2</sub>.

**Решение.** Природа атомов элементов в молекулах H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>S и O<sub>2</sub>: H – неметалл, *s*-семейство; O – неметалл, *p*-семейство; S – неметалл, *p*-семейство.

Величины относительной электроотрицательности (ОЭО) атомов: ОЭО (H) = 2,20; ОЭО (O) = 3,50; ОЭО (S) = 2,44.

Определяем разность ОЭО атомов, образующих химические связи в молекулах  $\text{H}_2\text{S}$  и  $\text{H}_2\text{O}$ :

$$\Delta\text{ОЭО} (\text{H} - \text{S}) = 2,44 - 2,20 = 0,24 < 0,40;$$

$$\Delta\text{ОЭО} (\text{H} - \text{O}) = 3,50 - 2,20 = 1,30 > 0,40,$$

следовательно, связи в молекуле  $\text{H}_2\text{S}$  ковалентные неполярные, в молекуле  $\text{H}_2\text{O}$  ковалентные полярные. В молекуле  $\text{O}_2$  связь ковалентная неполярная, т. к.  $\Delta\text{ОЭО} (\text{O} - \text{O}) = 3,50 - 3,50 = 0$ .

При растворении в воде сероводорода между полярными ( $\mu \neq 0$ ) молекулами  $\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{H}_2\text{S}$  возникают ориентационные межмолекулярные взаимодействия (рис. 10, а).

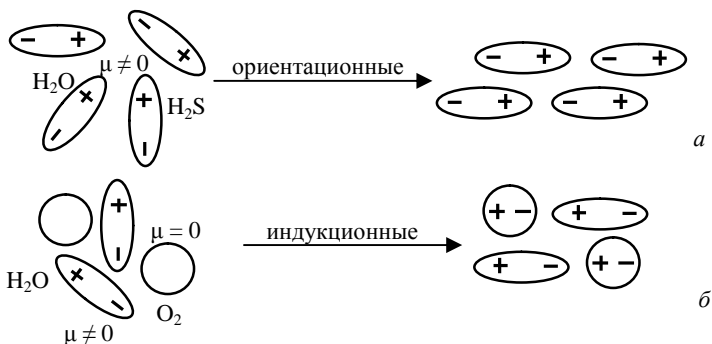
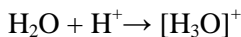


Рис. 10. Схема возникновения ориентационных (а) и индукционных (б) межмолекулярных взаимодействий

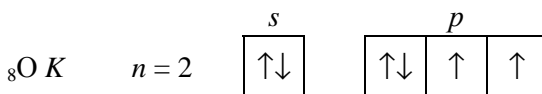
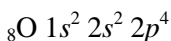
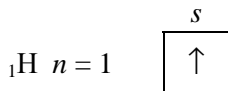
При растворении в воде кислорода между полярными молекулами воды ( $\mu \neq 0$ ) и неполярными молекулами кислорода ( $\mu = 0$ ), возникают индукционные межмолекулярные взаимодействия (рис. 10, б).

**5. Покажите механизм образования иона гидроксония  $[\text{H}_3\text{O}]^+$ .**

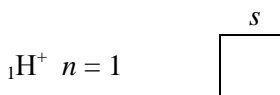
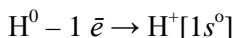
**Решение.** Ион гидроксония образуется по схеме



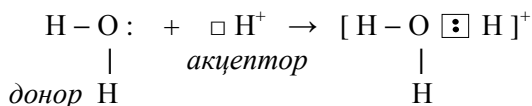
Электронные формулы и электронно-графические схемы атомов водорода, кислорода и катиона водорода:



Атом водорода теряет электрон, образуя катион по следующей схеме:

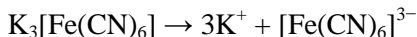


В ионе гидроксония все три связи ковалентные: две связи между атомами водорода и кислорода в молекуле воды образованы по обменному механизму, а третья связь между атомом кислорода и катионом водорода образована по донорно-акцепторному механизму – неподеленная электронная пара атома кислорода занимает свободную орбиталь катиона водорода:

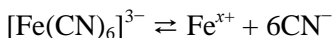


6. Определите ион-комплексобразователь, его степень окисления и координационное число в комплексном соединении  $K_3[Fe(CN)_6]$ .

**Решение.** В соединении  $K_3[Fe(CN)_6]$  внутренняя координационная сфера является анионом (комплексный анион). Процесс первичной диссоциации записывается в следующем виде:



Центральный ион  $Fe^{x+}$  (ион-комплексобразователь), связанный с лигандами-анионами  $CN^-$ , образует внутреннюю координационную сферу. Координационное число (число лигандов, окружающих ион-комплексобразователь) равно 6. Для определения степени окисления иона-комплексобразователя запишем общую реакцию вторичной диссоциации комплексного аниона  $[Fe(CN)_6]^{3-}$ :



Рассчитаем степень окисления иона-комплексобразователя ( $x$ ) исходя из равенства алгебраической суммы зарядов в правой и левой частях уравнения:

$$-3 = x + 6 \cdot (-1).$$

Откуда степень окисления железа в комплексном соединении равна +3.

7. Определите ион-комплексобразователь, его степень окисления и координационное число в комплексном соединении  $[Co(NH_3)_6]Cl_3$ .

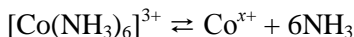
**Решение.** В соединении  $[Co(NH_3)_6]Cl_3$  внутренняя координационная сфера является катионом (комплексный катион). Процесс первичной диссоциации записывается в следующем виде:



Центральный ион  $Co^{x+}$  (ион-комплексобразователь), связанный с лигандами-молекулами  $NH_3$ , образует внутреннюю координационную сферу. Координационное число (число лигандов, окружающих



ион-комплексообразователь) равно 6. Для определения степени окисления иона-комплексообразователя запишем общую реакцию вторичной диссоциации комплексного катиона  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$ :



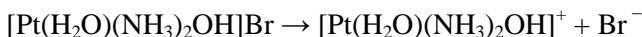
Затем рассчитаем степень окисления иона-комплексообразователя ( $x$ ) исходя из равенства алгебраической суммы зарядов в правой и левой частях уравнения:

$$+3 = x + 6 \cdot 0.$$

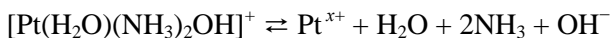
Откуда степень окисления кобальта в комплексном соединении равна +3.

**8.** Определите ион-комплексообразователь, его степень окисления и координационное число в комплексном соединении  $[\text{Pt}(\text{H}_2\text{O})(\text{NH}_3)_2\text{OH}]\text{Br}$ .

*Решение.* В соединении  $[\text{Pt}(\text{H}_2\text{O})(\text{NH}_3)_2\text{OH}]\text{Br}$  внутренняя координационная сфера является катионом (комплексный катион). Процесс первичной диссоциации записывается в следующем виде:



Центральный ион  $\text{Pt}^{x+}$  (ион-комплексообразователь), связанный с лигандами (молекулами  $\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{NH}_3$ , анионом  $\text{OH}^-$ ), образует внутреннюю координационную сферу. Координационное число (число лигандов, окружающих ион-комплексообразователь) равно сумме  $1 + 2 + 1 = 4$ . Для определения степени окисления иона-комплексообразователя запишем общую реакцию вторичной диссоциации комплексного катиона  $[\text{Pt}(\text{H}_2\text{O})(\text{NH}_3)_2\text{OH}]^+$ :



Затем рассчитаем степень окисления иона-комплексообразователя ( $x$ ) исходя из равенства алгебраической суммы зарядов в правой и левой частях уравнения:

$$+1 = 1 \cdot x + 1 \cdot 0 + 2 \cdot 0 + 1 \cdot (-1).$$

Откуда степень окисления платины в комплексном соединении равна +2.

### Задачи I уровня

Определите ион-комплексообразователь, его степень окисления и координационное число в комплексном соединении, назовите его:

1.  $K_4[Fe(CN)_6]$ .
2.  $K_3[Al(OH)_6]$ .
3.  $[Co(NH_3)_5Cl]SO_4$ .
4.  $[Co(NH_3)_6]Cl_2$ .
5.  $[Au(CN)_2(NH_3)_2]Cl$ .
6.  $[Cu(NH_3)_4](NO_3)_2$ .
7.  $[Pt(NH_3)_4SO_4]Br_2$ .
8.  $K_3[Fe(CN)_6]$ .
9.  $K[Au(CN)_4]$ .
10.  $K_3[Cu(CN)_4]$ .
11.  $[Cr(H_2O)_3(NH_3)_3]Cl_3$ .
12.  $[Cr(NH_3)_5PO_4]$ .
13.  $Na_2[Ni(CN)_4]$ .
14.  $[Co(NH_3)_3(NO_2)_3]$ .
15.  $K[Au(NO_3)_4]$ .

### Задачи II уровня

1. Запишите реакции первичной и вторичной диссоциации комплексного соединения  $[Pt(NH_3)_4SO_4]Br_2$  и комплексного иона.

2. Какая ковалентная связь называется  $\pi$ -связью? Какой тип связи реализуется в молекуле  $N_2$ ? Объясните механизм образования этой связи, написав электронную формулу и электронно-графическую схему атома азота. Объясните свойства данной связи. Какой тип межмолекулярных взаимодействий возникает между молекулами азота?

3. Какой механизм образования ковалентной связи называется донорно-акцепторным? Какие химические связи имеются в ионе  $BF_4^-$  ( $BF_3 + F^-$ )? Объясните механизм их образования, написав

электронные формулы и электронно-графические схемы атомов, составляющих этот ион. Учтите, что один из атомов претерпевает гибридизацию атомных орбиталей.

4. Какие кристаллические структуры называются ионными, атомными, молекулярными, металлическими? Какие из указанных структур имеют кристаллы следующих веществ: алмаз, хлорид натрия, диоксид углерода (твердый) – «сухой лед», магний? Объясните механизм образования связи в ионном и металлическом кристаллах.

5. Укажите типы химической связи в комплексном соединении  $\text{Na}[\text{BF}_4]$ . Чем отличаются обменный механизм образования ковалентной связи от донорно-акцепторного? Поясните, написав электронные формулы и электронно-графические схемы атомов элементов, составляющих данное соединение.

6. Какие типы связей имеются в димере фтористого водорода  $(\text{HF})_2$  и ионе гидроксония  $(\text{H}_3\text{O})^+$ ? Объясните механизмы образования этих связей.

7. Вода имеет аномально высокую температуру кипения и низкую температуру замерзания. Объясните, чем это вызвано?

### Контрольные задачи

1. Определите тип связи в молекуле  $\text{AsCl}_3$ . Объясните механизм ее образования и свойства. Покажите графически форму молекулы.

2. Определите тип связи в молекуле  $\text{H}_2\text{Se}$ . Объясните механизм ее образования и свойства. Покажите графически форму молекулы.

3. Определите тип связи в молекуле  $\text{CaCl}_2$ . Объясните механизм ее образования и свойства. Покажите графически кристаллическую решетку.

4. Определите тип связи в молекуле  $\text{GaCl}_3$ . Объясните механизм ее образования, свойства и покажите графически форму молекулы. Определите тип гибридизации.

5. Определите тип связи в молекуле  $\text{BF}_3$ . Объясните механизм ее образования и свойства. Покажите графически форму молекулы. Определите тип гибридизации.

6. Определите тип связи в соединении  $\text{CsF}$ . Объясните механизм ее образования, свойства. Покажите графически кристаллическую решетку.

7. Определите тип связи в молекуле  $MnBr_2$ . Объясните механизм ее образования и свойства. Покажите графически форму молекулы. Определите тип гибридизации.

8. Определите тип связи в молекуле  $GeCl_4$ , тип гибридизации. Объясните механизм ее образования и свойства. Покажите графически форму молекулы.

9. Определите тип связи в молекуле  $HBr$ . Объясните механизм ее образования и свойства. Какой вид взаимодействия проявляется между молекулами  $HBr$ ?

10. Определите типы связей в соединениях  $FrCl$  и в металлическом франции. Объясните механизм образования этих связей. Покажите соответствующие кристаллические решетки.

11. Определите тип связи в молекуле  $AsH_3$ . Покажите механизм ее образования. Объясните свойства этой связи: насыщенность и направленность.

12. Определите типы связей в соединении  $FeF_2$  и металлическом железе. Объясните механизм образования этих связей. Покажите соответствующие кристаллические решетки.

13. Определите тип связи в молекуле  $SnCl_4$ , тип гибридизации. Объясните механизм ее образования, свойства. Покажите графически форму молекулы.

14. Определите тип связи в молекуле  $PCl_3$ . Объясните механизм ее образования, свойства и покажите графически форму молекулы.

15. Определите тип связи в молекуле  $Cl_2$ . Покажите механизм ее образования. Объясните свойства этой связи: насыщенность и направленность.

16. Определите тип связи в молекуле  $HCl$ . Покажите механизм ее образования. Объясните свойства этой связи: насыщенность и направленность. Чем обусловлена полярность связи?

17. Определите тип связи в молекуле  $H_2S$ . Покажите механизм ее образования. Объясните свойства этой связи: насыщенность и направленность.

18. Определите тип связи в соединении  $BaO$ . Объясните механизм ее образования, свойства. Покажите графически кристаллическую решетку.

19. Определите тип связи в молекуле  $BeBr_2$ . Объясните механизм ее образования и свойства. Покажите графически форму молекулы. Определите тип гибридизации.

**20.** Определите тип связи в молекуле  $\text{VI}_3$ . Объясните механизм ее образования и свойства. Покажите графически форму молекулы. Определите тип гибридизации.

**21.** Определите тип связи в молекуле  $\text{SiH}_4$ . Объясните механизм ее образования и свойства. Покажите графически форму молекулы. Определите тип гибридизации.

**22.** Определите тип связи в соединении  $\text{CaI}_2$ . Объясните механизм ее образования, свойства. Покажите графически форму молекулы.

**23.** Определите тип связи в молекулах:  $\text{HI}$ ,  $\text{HBr}$ ,  $\text{HCl}$ . Для молекулы, имеющей наибольший дипольный момент (пользоваться величинами  $\text{OЭО}$ ), покажите механизм образования связи, ее свойства, написав электронные формулы и схемы атомов, составляющих данную молекулу.

**24.** Определите типы связей в соединении  $\text{NiF}_2$  и металлическом никеле. Объясните механизм образования этих связей. Покажите соответствующие кристаллические решетки.

**25.** Определите типы связей в соединениях  $\text{HF}$  и  $\text{NaF}$ . Объясните механизм образования ионной связи. Покажите графически кристаллическую решетку. Чем отличаются данные связи?

**26.** Какой тип связи имеется в кристалле натрия? Чем отличаются структуры кристаллов хлорида натрия –  $\text{NaCl}$  и металлического натрия? Объясните механизмы образования типов связи в данных кристаллах. Покажите соответствующие кристаллические решетки.

**27.** Определите тип связи в соединении  $\text{MgF}_2$ . Объясните механизм ее образования, свойства. Покажите графически кристаллическую решетку.

**28.** Определите тип связи в молекуле  $\text{TiCl}_2$ . Объясните механизм ее образования с учетом того, что один из атомов претерпевает гибридизацию атомных орбиталей, и свойства связи. Покажите графически форму молекулы.

**29.** Определите типы связи в молекулах  $\text{NCl}_3$ . Объясните механизм ее образования и свойства. Покажите графически форму молекулы.

**30.** Определите тип связи в соединении  $\text{CaO}$ . Объясните механизм ее образования, свойства. Покажите графически кристаллическую решетку.

## 4. СПОСОБЫ ВЫРАЖЕНИЯ СОСТАВА РАСТВОРА

### Типовые задачи и их решения

1. Определите массу карбоната натрия ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), содержащегося в  $200 \text{ см}^3$  раствора с молярной концентрацией эквивалента  $C_3(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,2 \text{ моль/дм}^3$ ?

*Дано:*

$$\begin{array}{l} V_{\text{р-ра}} = 200 \text{ см}^3 \\ C_3(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,2 \text{ моль/дм}^3 \\ \hline m(\text{Na}_2\text{CO}_3) - ? \end{array}$$

*Решение*

Молярная концентрация эквивалента вещества определяется по формуле

$$C_3 = \frac{n_{\text{э в-ва}}}{V_{\text{р-ра}}} = \frac{m_{\text{в-ва}}}{M_{\text{э в-ва}} \cdot V_{\text{р-ра}}}$$

Молярная концентрация эквивалента  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  в растворе равна

$$C_3(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{m(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{M_3(\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot V_{\text{р-ра}}}$$

Откуда  $m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = C_3(\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot M_3(\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot V_{\text{р-ра}}$ .

$$M_3(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{M(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{B \cdot n} = \frac{106}{1 \cdot 2} = 53 \text{ г/моль},$$

где  $M(\text{Na}_2\text{CO}_3)$  – молярная масса  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , равная 106 г/моль;

$B$  – валентность натрия ( $B = 1$ );

$n$  – число атомов натрия в молекуле соли ( $n = 2$ ).

Подставляем значения:

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,2 \cdot 53 \cdot 200 \cdot 10^{-3} = 2,12 \text{ г},$$

где  $10^{-3}$  – коэффициент перевода  $\text{см}^3$  в  $\text{дм}^3$ .

**Ответ:**  $m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 2,12 \text{ г}$ .

2. Определите массу гидроксида натрия (NaOH), необходимого для приготовления  $300 \text{ см}^3$  раствора с массовой долей  $\omega(\text{NaOH})$ , равной 18 %, плотностью  $\rho_{\text{р-ра}}$ , равной  $1,2 \text{ г/см}^3$ ?

**Дано:**  
 $V_{\text{р-ра}} = 300 \text{ см}^3$   
 $\omega(\text{NaOH}) = 18 \%$   
 $\rho_{\text{р-ра}} = 1,2 \text{ г/см}^3$   
 $m(\text{NaOH}) - ?$

**Решение**  
 Массовая доля вещества определяется по формуле

$$\omega = \frac{m_{\text{в-ва}}}{m_{\text{р-ра}}} \cdot 100 \%$$

Тогда  $\omega(\text{NaOH}) = \frac{m(\text{NaOH})}{m_{\text{р-ра}}} \cdot 100 \%$ .

Откуда  $m(\text{NaOH}) = \omega \cdot m_{\text{р-ра}} / 100 \%$ .

Поскольку

$$m_{\text{р-ра}} = V_{\text{р-ра}} \rho_{\text{р-ра}} = 300 \cdot 1,2 = 360 \text{ г},$$

то

$$m(\text{NaOH}) = 360 \cdot 18 \% / 100 \% = 64,8 \text{ г}.$$

**Ответ:**  $m(\text{NaOH}) = 64,8 \text{ г}$ .

3. Определите моляльность ( $C_m$ ) хлорида кальция ( $\text{CaCl}_2$ ) в растворе, если в  $400 \text{ см}^3$  воды растворено 22,2 г этой соли.

**Дано:**  
 $V(\text{H}_2\text{O}) = 400 \text{ см}^3$   
 $m(\text{CaCl}_2) = 22,2 \text{ г}$   
 $C_m(\text{CaCl}_2) - ?$

**Решение**  
 Моляльность вещества в растворе определяется по формуле

$$C_m = \frac{n_{\text{в-ва}}}{m_{\text{р-ля}}} = \frac{m_{\text{в-ва}} \cdot 1000}{M_{\text{в-ва}} \cdot m_{\text{р-ля}}}$$

Моляльность  $C_m(\text{CaCl}_2)$  в водном растворе определяется по формуле

$$C_m(\text{CaCl}_2) = \frac{m(\text{CaCl}_2) \cdot 1000}{M(\text{CaCl}_2) \cdot m(\text{H}_2\text{O})},$$

где  $M(\text{CaCl}_2) = 111$  г/моль;

1000 – коэффициент перевода г в кг.

Массу воды определяем по формуле

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

т. к.  $\rho(\text{H}_2\text{O}) = 1$  г/см<sup>3</sup>, то  $m(\text{H}_2\text{O}) = 400$  г.

Подставляем значения в формулу

$$C_m(\text{CaCl}_2) = 22,2 \cdot 1000 / (111 \cdot 400) = 0,5 \text{ моль/кг.}$$

**Ответ:**  $C_m(\text{CaCl}_2) = 0,5$  моль/кг.

4. Определите молярную долю ( $\chi$ ) хлорида натрия (NaCl) в водном растворе с массовой долей  $\omega(\text{NaCl})$ , равной 20 %.

*Дано:*

$$\omega(\text{NaCl}) = 20 \%$$

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

*Решение*

Молярная доля растворенного вещества в растворе определяется по формуле

$$\chi = \frac{n_{\text{в-ва}}}{\sum n_i} \cdot 100\% .$$

Молярную долю NaCl в растворе определяем по формуле

$$\chi(\text{NaCl}) = \frac{n(\text{NaCl})}{n(\text{NaCl}) + n(\text{H}_2\text{O})} \cdot 100\% ,$$

где  $n(\text{NaCl})$  – количество растворенного вещества, моль;

$n(\text{H}_2\text{O})$  – количество растворителя, моль.



$$n(\text{NaCl}) = \frac{m(\text{NaCl})}{M(\text{NaCl})}; \quad n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})}.$$

$$M(\text{NaCl}) = 58,5 \text{ г/моль}; \quad M(\text{H}_2\text{O}) = 18 \text{ г/моль}.$$

Массы NaCl и H<sub>2</sub>O определяем из формулы массовой доли. Согласно условию задачи, имеется раствор с  $\omega(\text{NaCl}) = 20\%$ , т. е. в 100 г водного раствора содержится 20 г NaCl. Следовательно,  $m(\text{H}_2\text{O}) = 100 - 20 = 80$  г.

Тогда

$$n(\text{H}_2\text{O}) = 80 / 18 = 4,44 \text{ моль};$$

$$n(\text{NaCl}) = 20 / 58,5 = 0,34 \text{ моль}.$$

Откуда

$$\chi(\text{NaCl}) = \frac{n(\text{NaCl})}{n(\text{NaCl}) + n(\text{H}_2\text{O})} \cdot 100\% = \frac{0,34}{0,34 + 4,44} \cdot 100\% = 7,1\%.$$

**Ответ:**  $\chi(\text{NaCl}) = 7,1\%$ .

5. Определите объем раствора хлорида натрия с молярной концентрацией эквивалента  $C_3(\text{NaCl}) = 0,3$  моль/дм<sup>3</sup>, который необходимо добавить к 150 см<sup>3</sup> раствора нитрата серебра с молярной концентрацией эквивалента  $C_3(\text{AgNO}_3) = 0,16$  моль/дм<sup>3</sup>, чтобы осадить все находящиеся в растворе ионы серебра в виде хлорида серебра.

**Дано:**

$$V_{\text{р-ра}}(\text{AgNO}_3) = 150 \text{ см}^3$$

$$C_3(\text{AgNO}_3) = 0,16 \text{ моль/дм}^3$$

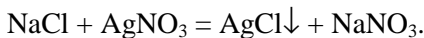
$$C_3(\text{NaCl}) = 0,3 \text{ моль/дм}^3$$

---


$$V_{\text{р-ра}}(\text{NaCl}) - ?$$

**Решение**

Вещества реагируют в эквивалентных количествах:



Следовательно, по закону эквивалентов имеем следующее соотношение:

$$C_3(\text{NaCl}) \cdot V_{\text{p-ра}}(\text{NaCl}) = C_3(\text{AgNO}_3) \cdot V_{\text{p-ра}}(\text{AgNO}_3).$$

Откуда

$$V_{\text{p-ра}}(\text{NaCl}) = C_3(\text{AgNO}_3) \cdot V_{\text{p-ра}}(\text{AgNO}_3) / C_3(\text{NaCl}).$$

Подставляя численные значения, имеем

$$V_{\text{p-ра}}(\text{NaCl}) = 0,16 \cdot 150 / 0,3 = 80 \text{ см}^3.$$

**Ответ:**  $V_{\text{p-ра}}(\text{NaCl}) = 80 \text{ см}^3$ .

6. Определите: а) молярную концентрацию ( $C$ ); б) молярную концентрацию эквивалента ( $C_3$ ); в) моляльность ( $C_m$ ) ортофосфорной кислоты в  $1 \text{ дм}^3$  водного раствора с массовой долей  $\omega(\text{H}_3\text{PO}_4) = 6 \%$  и плотностью  $\rho_{\text{p-ра}} = 1,03 \text{ г/см}^3$ .

**Дано:**

$$V_{\text{p-ра}} = 1 \text{ дм}^3$$

$$\omega(\text{H}_3\text{PO}_4) = 6 \%$$

$$\rho_{\text{p-ра}} = 1,03 \text{ г/см}^3$$

$$\text{а) } C(\text{H}_3\text{PO}_4) - ?$$

$$\text{б) } C_3(\text{H}_3\text{PO}_4) - ?$$

$$\text{в) } C_m(\text{H}_3\text{PO}_4) - ?$$

**Решение:**

а) молярная концентрация вещества определяется по формуле

$$C = \frac{n_{\text{в-ва}}}{V_{\text{p-ра}}} = \frac{m_{\text{в-ва}}}{M_{\text{в-ва}} \cdot V_{\text{p-ра}}}.$$

Рассчитываем массу раствора  $\text{H}_3\text{PO}_4$ :

$$m_{\text{p-ра}} = V_{\text{p-ра}} \cdot \rho_{\text{p-ра}} = 1000 \cdot 1,03 = 1030 \text{ г}.$$

Из формулы

$$\omega(\text{H}_3\text{PO}_4) = \frac{m(\text{H}_3\text{PO}_4)}{m_{\text{p-ра}}} \cdot 100 \%$$

находим  $m(\text{H}_3\text{PO}_4) = 1030 \cdot 6 / 100 = 61,8 \text{ г}$ .

Следовательно, количество вещества  $\text{H}_3\text{PO}_4$  равно

$$n(\text{H}_3\text{PO}_4) = m(\text{H}_3\text{PO}_4) / M(\text{H}_3\text{PO}_4) = 61,8 / 98 = 0,63 \text{ моль},$$

где  $M(\text{H}_3\text{PO}_4) = 98$  г/моль.

Тогда  $C(\text{H}_3\text{PO}_4) = n(\text{H}_3\text{PO}_4) / V_{\text{р-ра}} = 0,63 / 1 = 0,63$  моль/дм<sup>3</sup>;

б) молярную концентрацию эквивалента  $\text{H}_3\text{PO}_4$  определяем по формуле

$$C_3(\text{H}_3\text{PO}_4) = \frac{m(\text{H}_3\text{PO}_4)}{M_3(\text{H}_3\text{PO}_4) \cdot V_{\text{р-ра}}},$$

где  $M_3(\text{H}_3\text{PO}_4) = M(\text{H}_3\text{PO}_4) / 3 = 98 / 3 = 32,67$  г/моль.

$$C_3(\text{H}_3\text{PO}_4) = 61,8 / (32,67 \cdot 1) = 1,89 \text{ моль/дм}^3;$$

в) моляльность вещества  $\text{H}_3\text{PO}_4$  в растворе определяем по формуле

$$C_m(\text{H}_3\text{PO}_4) = \frac{m(\text{H}_3\text{PO}_4) \cdot 1000}{M(\text{H}_3\text{PO}_4) \cdot m(\text{H}_2\text{O})}.$$

В пункте а) определили, что  $m_{\text{р-ра}} = 1030$  г и  $m(\text{H}_3\text{PO}_4) = 61,8$  г. Следовательно,  $m(\text{H}_2\text{O}) = m_{\text{р-ра}} - m(\text{H}_3\text{PO}_4) = 1030 - 61,8 = 968,2$  г.

Подставляем значения:

$$C_m(\text{H}_3\text{PO}_4) = 61,8 \cdot 1000 / (98 \cdot 968,2) = 0,65 \text{ моль/кг.}$$

**Ответ:** а)  $C(\text{H}_3\text{PO}_4) = 0,63$  моль/дм<sup>3</sup>;

б)  $C_3(\text{H}_3\text{PO}_4) = 1,89$  моль/дм<sup>3</sup>;

в)  $C_m(\text{H}_3\text{PO}_4) = 0,65$  моль/кг.

7. Определите объем раствора карбоната калия с массовой долей  $\omega(\text{K}_2\text{CO}_3)$ , равной 16 %, и плотностью ( $\rho_{\text{р-ра}}$ ), равной 1,15 г/см<sup>3</sup>, необходимый для приготовления 3 дм<sup>3</sup> раствора с молярной концентрацией эквивалента  $C_3(\text{K}_2\text{CO}_3)$ , равной 0,2 моль/дм<sup>3</sup>?

**Дано:**

$$\begin{aligned} \omega(\text{K}_2\text{CO}_3) &= 16 \% \\ \rho_{\text{р-ра}} &= 1,15 \text{ г/см}^3 \\ V_{1 \text{ р-ра}}(\text{K}_2\text{CO}_3) &= 3 \text{ дм}^3 \\ C_3(\text{K}_2\text{CO}_3) &= 0,2 \\ &\text{моль/дм}^3 \\ \hline V_{2 \text{ р-ра}}(\text{K}_2\text{CO}_3) &= ? \end{aligned}$$

**Решение**

Молярная концентрация эквивалента  $\text{K}_2\text{CO}_3$  в растворе:

$$C_3(\text{K}_2\text{CO}_3) = \frac{m(\text{K}_2\text{CO}_3)}{M_3(\text{K}_2\text{CO}_3) \cdot V_{1 \text{ р-ра}}(\text{K}_2\text{CO}_3)}.$$

Определяем массу  $K_2CO_3$ , необходимую для приготовления раствора:

$$m(K_2CO_3) = C_3(K_2CO_3) \cdot M_3(K_2CO_3) \cdot V_{1\text{ р-ра}}$$

Поскольку

$$M_3(K_2CO_3) = M(K_2CO_3) / 2 = 138 / 2 = 69 \text{ г/моль},$$

то

$$m(K_2CO_3) = 0,2 \cdot 69 \cdot 3 = 41,4 \text{ г.}$$

Согласно условию задачи имеем исходный раствор с массовой долей  $\omega(K_2CO_3) = 16 \%$ .

Зная, что

$$\omega(K_2CO_3) = \frac{m(K_2CO_3)}{m_{2\text{ р-ра}}(K_2CO_3)} 100 \%,$$

определим массу исходного раствора:

$$m_{2\text{ р-ра}}(K_2CO_3) = \frac{m(K_2CO_3)}{\omega(K_2CO_3)} \cdot 100 \% = \frac{41,4 \cdot 100}{16} = 258,75 \text{ г.}$$

В итоге объем исходного раствора будет равен

$$V_{2\text{ р-ра}} = m_{2\text{ р-ра}} / \rho_{\text{р-ра}} = 258,75 / 1,15 = 225 \text{ см}^3.$$

$$\text{Ответ: } V_{2\text{ р-ра}}(K_2CO_3) = 225 \text{ см}^3.$$

### Задачи I уровня

1. Определите массу нитрата алюминия, содержащегося в  $400 \text{ см}^3$  раствора с молярной концентрацией эквивалента  $C_3(\text{Al}(\text{NO}_3)_3)$ , равной  $0,2 \text{ моль/дм}^3$ .

2. Определите массу хлорида кальция, необходимого для приготовления  $500 \text{ см}^3$  раствора с массовой долей  $\omega(\text{CaCl}_2)$ , равной 25 %, плотность раствора ( $\rho_{\text{р-ра}}$ ) составляет  $1,23 \text{ г/см}^3$ .

3. Определите молярную концентрацию  $C(\text{Na}_2\text{SO}_4)$ , если в  $600 \text{ см}^3$  раствора содержится 60 г сульфата натрия.

4. Определите моляльность ( $C_m$ ) нитрата аммония, если в  $500 \text{ г}$  водного раствора содержится 160 г  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ .

5. Определите молярную долю хлорида натрия, если массовая доля растворенного вещества  $\omega(\text{KCl})$  в водном растворе составляет 40 %.

6. Определите моляльность ( $C_m$ ) этиленгликоля, если в  $800 \text{ г}$  водного раствора содержится  $200 \text{ см}^3$   $\text{C}_2\text{H}_4(\text{OH})_2$ , плотность этиленгликоля равна  $1,2 \text{ г/см}^3$ .

7. Определите массу гидрокарбоната натрия ( $\text{NaHCO}_3$ ), необходимого для приготовления  $500 \text{ см}^3$  раствора с массовой долей  $\omega(\text{NaHCO}_3)$ , равной 36 %, и плотностью раствора ( $\rho_{\text{р-ра}}$ ), равной  $1,15 \text{ г/см}^3$ .

8. Определите массу сульфата железа (II), необходимого для приготовления  $700 \text{ см}^3$  раствора с молярной концентрацией эквивалента  $C_9(\text{FeSO}_4)$  в растворе, равной  $0,1 \text{ моль/дм}^3$ .

9. Определите молярную концентрацию эквивалента ( $C_9$ ) карбоната калия, если в  $800 \text{ см}^3$  раствора содержится 26,5 г  $\text{K}_2\text{CO}_3$ .

10. Моляльность ( $C_m$ ) нитрата калия в растворе равна  $0,5 \text{ моль/кг}$ . Определите массу  $\text{KNO}_3$ , если раствор содержит  $200 \text{ см}^3$  воды.

11. Определите массу нитрата натрия, необходимого для приготовления  $1 \text{ дм}^3$  раствора с массовой долей  $\omega(\text{NaNO}_3)$ , равной 35 % (плотность раствора ( $\rho_{\text{р-ра}}$ ) равна  $1,27 \text{ г/см}^3$ ).

12. Определите массу азотной кислоты, содержащейся в  $1 \text{ дм}^3$  водного раствора с массовой долей  $\omega(\text{HNO}_3)$ , равной 30 %, плотность раствора ( $\rho_{\text{р-ра}}$ ) равна  $1,18 \text{ г/см}^3$ .

13. Определите молярную концентрацию  $C(\text{NaOH})$ , если в  $200 \text{ см}^3$  водного раствора содержится 8 г гидроксида натрия.

14. Найдите массу этанола, содержащегося в  $1 \text{ дм}^3$  раствора с массовой долей  $\omega(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})$ , равной 40 %, и плотностью раствора ( $\rho_{\text{р-ра}}$ ), равной  $0,94 \text{ г/см}^3$ .

15. Определите молярную долю уксусной кислоты ( $\chi$ ) в водном растворе с массовой долей  $\omega(\text{CH}_3\text{COOH})$ , равной 60 %.

## Задачи II уровня

1. Плотность водного раствора ( $\rho_{\text{р-ра}}$ ) серной кислоты объемом  $2 \text{ дм}^3$  и массовой долей  $\omega(\text{H}_2\text{SO}_4)$ , равной 36 %, составляет  $1,27 \text{ г/см}^3$ . Определите концентрации: а) молярную ( $C$ ); б) молярную эквивалента ( $C_3$ ); в) моляльность ( $C_m$ ) серной кислоты.

2. Определите объем концентрированной серной кислоты с массовой долей  $\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = 94 \%$  и плотностью ( $\rho_{\text{р-ра}}$ ), равной  $1,83 \text{ г/см}^3$ , необходимый для приготовления  $1 \text{ дм}^3$  раствора с молярной концентрацией эквивалента  $C_3(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,5 \text{ моль/дм}^3$ ?

3. В  $600 \text{ см}^3$  воды растворено 50 г гидроксида натрия. Плотность полученного раствора ( $\rho_{\text{р-ра}}$ ) равна  $1,074 \text{ г/см}^3$ . Определите: а) молярную долю  $\chi(\text{NaOH})$ ; б) молярную концентрацию  $C(\text{NaOH})$ ; в) массовую долю  $\omega(\text{NaOH})$  в полученном растворе.

4. Образец технического карбоната калия содержит 85 %  $\text{K}_2\text{CO}_3$ . Определите массу этого образца, необходимого для приготовления  $200 \text{ см}^3$  раствора с молярной концентрацией эквивалента  $C_3(\text{K}_2\text{CO}_3) = 0,5 \text{ моль/дм}^3$ .

5. Определите массовую долю ( $\omega$ ) хлорида натрия в водном растворе с моляльной концентрацией  $C_m(\text{NaCl})$ , равной  $1,2 \text{ моль/кг H}_2\text{O}$ .

6. Определите объем раствора гидроксида натрия с молярной концентрацией эквивалента  $C_3(\text{NaOH}) = 0,15 \text{ моль/дм}^3$ , необходимый для нейтрализации  $20 \text{ см}^3$  раствора соляной кислоты с массовой долей  $\omega(\text{HCl}) = 5 \%$  и плотностью раствора ( $\rho_{\text{р-ра}}$ ), равной  $1,024 \text{ г/см}^3$ .

7. Определите массу гидроксида кальция  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , содержащегося в  $250 \text{ см}^3$  раствора, если на нейтрализацию  $50 \text{ см}^3$  этого раствора потребовалось  $18 \text{ см}^3$  раствора соляной кислоты с молярной концентрацией эквивалента  $C_3(\text{HCl})$ , равной  $0,25 \text{ моль/дм}^3$ .

## Контрольные задачи

1. Вычислите: а) массовую долю ( $\omega$ ); б) молярную концентрацию ( $C$ ) сульфата натрия в  $150 \text{ см}^3$  раствора, содержащем 26 г  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Плотность раствора ( $\rho_{\text{р-ра}}$ ) равна  $1,17 \text{ г/см}^3$ .

2. Вычислите: а) молярную ( $C$ ) концентрацию; б) моляльность ( $C_m$ ) серной кислоты в растворе с массовой долей  $\omega(\text{H}_2\text{SO}_4)$ , равной 34 %, имеющего плотность раствора ( $\rho_{\text{р-ра}}$ )  $1,25 \text{ г/см}^3$ . Объем раствора равен  $1 \text{ дм}^3$ .

3. На нейтрализацию  $50 \text{ см}^3$  раствора  $\text{H}_3\text{PO}_4$  израсходовано  $25 \text{ см}^3$  раствора  $\text{KOH}$  с молярной концентрацией эквивалента  $C_3(\text{KOH})$ , равной  $0,5 \text{ моль/дм}^3$ . Определите молярную концентрацию эквивалента  $C_3(\text{H}_3\text{PO}_4)$ . Сколько граммов  $\text{H}_3\text{PO}_4$  содержит  $1 \text{ дм}^3$  данного раствора?

4. Определите объем раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$  с массовой долей ( $\omega_1$ ), равной 96 %, плотность ( $\rho_1$ ) которого  $1,84 \text{ г/см}^3$ , необходимый для приготовления  $V_2 = 2 \text{ дм}^3$  раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$  с  $\omega_2 = 40 \%$ , плотность ( $\rho_2$ ) которого  $1,31 \text{ г/см}^3$ .

5. Смешали растворы хлорида натрия объемом  $300 \text{ см}^3$  с массовой долей  $\omega_1(\text{NaCl})$ , равной 15 %, плотностью ( $\rho_1$ ), равной  $1,12 \text{ г/см}^3$ , и объемом  $100 \text{ см}^3$  с массовой долей  $\omega_2(\text{NaCl})$ , равной 24 %, плотностью ( $\rho_2$ ), равной  $1,14 \text{ г/см}^3$ . Чему равна массовая доля  $\omega_3(\text{NaCl})$  в полученном растворе?

6. Определите массу воды и массу хлорида натрия, необходимые, чтобы приготовить  $1 \text{ дм}^3$  раствора с массовой долей  $\omega(\text{NaCl})$ , равной 20 %, плотность ( $\rho_{\text{р-ра}}$ ) которого равна  $1,13 \text{ г/см}^3$ ? Какова моляльность  $C_m(\text{NaCl})$  в растворе?

7. Определите молярную концентрацию ( $C$ ) и молярную концентрацию эквивалента ( $C_3$ ) серной кислоты, если в  $5 \text{ дм}^3$  раствора содержится  $196 \text{ г}$   $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

8. Определите массу  $\text{Ba}(\text{OH})_2$ , содержащегося в  $1 \text{ дм}^3$  раствора, если на нейтрализацию  $50 \text{ см}^3$  этого раствора израсходовано  $10 \text{ см}^3$  раствора соляной кислоты с молярной концентрацией эквивалента  $C_3(\text{HCl}) = 0,1 \text{ моль/дм}^3$ .

9. Определите объем раствора соляной кислоты с массовой долей  $\omega(\text{HCl})$ , равной 38 %, плотность ( $\rho_{\text{р-ра}}$ ) которого  $1,19 \text{ г/см}^3$ , необходимый для приготовления  $2 \text{ дм}^3$  раствора с молярной концентрацией эквивалента  $C_3(\text{HCl})$ , равной  $0,1 \text{ моль/дм}^3$ .

10. Вычислите: а) молярную концентрацию ( $C$ ); б) молярную концентрацию ( $C_m$ ) серной кислоты в растворе с массовой долей  $\omega(\text{H}_2\text{SO}_4)$ , равной 65 %, и плотностью раствора ( $\rho_{\text{р-ра}}$ ), равной  $1,64 \text{ г/см}^3$ . Объем раствора равен  $1 \text{ дм}^3$ .

11. Определите объем раствора азотной кислоты с массовой долей  $\omega(\text{HNO}_3)$ , равной 30 %, плотность ( $\rho_{\text{р-ра}}$ ) которого  $1,18 \text{ г/см}^3$ , необходимый для приготовления  $1 \text{ дм}^3$  раствора с молярной концентрацией  $C(\text{HNO}_3)$ , равной  $0,5 \text{ моль/дм}^3$ . Как практически приготовить данный раствор?

12. Определите объем воды, который следует добавить к  $200 \text{ см}^3$  раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$  с массовой долей ( $\omega_1$ ) серной кислоты, равной 55 %, плотность которого  $\rho_1 = 1,45 \text{ г/см}^3$ , чтобы приготовить раствор с  $\omega_2(\text{H}_2\text{SO}_4) = 10 \%$ .

13. Определите объем раствора серной кислоты с массовой долей  $\omega_1(\text{H}_2\text{SO}_4)$ , равной 88 %, плотность ( $\rho_1$ ) которого равна  $1,80 \text{ г/см}^3$ , необходимый для приготовления  $5 \text{ дм}^3$  аккумуляторного электролита с массовой долей  $\omega_2(\text{H}_2\text{SO}_4) = 36 \%$ , плотностью ( $\rho_2$ )  $= 1,27 \text{ г/см}^3$ .

14. На нейтрализацию  $1 \text{ дм}^3$  раствора гидроксида калия, содержащего  $1,4 \text{ г KOH}$ , потребовалось  $50 \text{ см}^3$  раствора соляной кислоты  $\text{HCl}$ . Вычислите молярную концентрацию эквивалента  $C_3(\text{HCl})$ . Какова масса  $\text{HCl}$ , содержащаяся в  $1 \text{ дм}^3$  данного раствора?

15. Имеется раствор, в  $1 \text{ дм}^3$  которого содержится  $24,5 \text{ г H}_2\text{SO}_4$ , и раствор, содержащий в  $1 \text{ дм}^3$   $8 \text{ г NaOH}$ . В каком объемном соотношении нужно смешать эти растворы для получения раствора, имеющего нейтральную реакцию среды?

16. Определите молярную долю ( $\chi$ ) и моляльность ( $C_m$ ) этанола в водном растворе с массовой долей  $\omega(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})$ , равной 18 %.

17. При растворении  $6 \text{ г}$  технического образца гидроксида калия в воде получили  $1 \text{ дм}^3$  раствора с молярной концентрацией  $C(\text{KOH})$ , равной  $0,1 \text{ моль/дм}^3$ . Каково процентное содержание  $\text{KOH}$  в техническом образце щелочи?

18. Определите объем раствора соляной кислоты, плотность ( $\rho_{\text{р-ра}}$ ) которого  $1,19 \text{ г/см}^3$ , с массовой долей  $\omega(\text{HCl})$ , равной 38 %, необходимый для приготовления  $2 \text{ дм}^3$  раствора  $\text{HCl}$  с молярной концентрацией эквивалента  $C_3(\text{HCl})$ , равной  $0,1 \text{ моль/дм}^3$ .

19. Определите массу сульфата бария, который выпадет в осадок, если к  $50 \text{ см}^3$  раствора с молярной концентрацией эквивалента  $C_3(\text{H}_2\text{SO}_4)$ , равной  $0,2 \text{ моль/дм}^3$ , прибавить избыток  $\text{BaCl}_2$ .

20. На нейтрализацию  $20 \text{ см}^3$  раствора гидроксида натрия с молярной концентрацией эквивалента  $C_3(\text{NaOH})$ , равной  $0,2 \text{ моль/дм}^3$ , израсходовано  $30 \text{ см}^3$  раствора серной кислоты  $\text{H}_2\text{SO}_4$  неизвестной концентрации. Определите молярную концентрацию эквивалента  $C_3(\text{H}_2\text{SO}_4)$  и массу  $\text{H}_2\text{SO}_4$  в  $1 \text{ дм}^3$  данного раствора.



21. Вычислите: а) массовую долю  $\omega(\text{K}_2\text{SO}_4)$ ; б) молярную концентрацию эквивалента  $C_3(\text{K}_2\text{SO}_4)$ , если в  $250 \text{ см}^3$  раствора, плотность ( $\rho_{\text{р-ра}}$ ) которого равна  $1,26 \text{ г/см}^3$ , содержится  $62 \text{ г}$  сульфата калия.

22. Имеется раствор серной кислоты с массовой долей  $\omega(\text{H}_2\text{SO}_4)$ , равной  $36 \%$ , плотностью раствора ( $\rho_{\text{р-ра}}$ ), равной  $1,27 \text{ г/см}^3$ . Вычислите: а) молярную концентрацию  $C(\text{H}_2\text{SO}_4)$ , б) моляльность  $C_m(\text{H}_2\text{SO}_4)$  в растворе. Объем раствора равен  $1 \text{ дм}^3$ .

23. На нейтрализацию  $80 \text{ см}^3$  раствора серной кислоты  $\text{H}_2\text{SO}_4$  израсходовано  $45 \text{ см}^3$  раствора гидроксида калия  $\text{KOH}$ , с  $C_3(\text{KOH})$ , равной  $0,5 \text{ моль/дм}^3$ . Чему равна молярная концентрация эквивалента  $C_3(\text{H}_2\text{SO}_4)$ ? Определите массу серной кислоты в  $1 \text{ дм}^3$  данного раствора.

24. Определите молярную долю ( $\chi$ ) серной кислоты в растворе с массовой долей  $\omega(\text{H}_2\text{SO}_4)$ , равной  $36 \%$ . Какова моляльность  $C_m(\text{H}_2\text{SO}_4)$  в растворе?

25. В  $360 \text{ см}^3$  воды растворено  $140 \text{ г}$  хлорида калия. Плотность полученного раствора ( $\rho_{\text{р-ра}}$ ) равна  $1,14 \text{ г/см}^3$ . Рассчитайте: а) молярную долю  $\chi(\text{KCl})$ ; б) молярную концентрацию  $C(\text{KCl})$  в полученном растворе.

26. Определите молярную концентрацию ( $C$ ) и молярную концентрацию эквивалента ( $C_3$ ) ортофосфата натрия, если в  $2 \text{ дм}^3$  раствора содержится  $294 \text{ г}$   $\text{Na}_3\text{PO}_4$ .

27. Определите объем раствора азотной кислоты с массовой долей  $\omega(\text{HNO}_3)$ , равной  $60 \%$ , и плотностью ( $\rho_{\text{р-ра}}$ ), равной  $1,37 \text{ г/см}^3$ , необходимый для приготовления  $800 \text{ см}^3$  раствора с молярной концентрацией азотной кислоты ( $C$ ), равной  $2 \text{ моль/дм}^3$ .

28. На нейтрализацию  $50 \text{ см}^3$  раствора гидроксида натрия с молярной концентрацией эквивалента  $C_3(\text{NaOH})$ , равной  $0,25 \text{ моль/дм}^3$ , израсходовано  $20 \text{ см}^3$  раствора серной кислоты  $\text{H}_2\text{SO}_4$  неизвестной концентрации. Определите молярную концентрацию эквивалента  $C_3(\text{H}_2\text{SO}_4)$  и массу  $\text{H}_2\text{SO}_4$  в  $1 \text{ дм}^3$  данного раствора.

29. В  $500 \text{ см}^3$  воды растворено  $128 \text{ г}$  гидроксида калия. Плотность полученного раствора ( $\rho_{\text{р-ра}}$ ) равна  $1,19 \text{ г/см}^3$ . Рассчитайте: а) массовую долю  $\omega(\text{KOH})$ ; б) молярную концентрацию  $C(\text{KOH})$  в полученном растворе.

30. Определите молярную долю ( $\chi$ ) и моляльность ( $C_m$ ) глюкозы  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  в водном растворе с массовой долей  $\omega(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)$ , равной  $18 \%$ .

## 5. ЖЕСТКОСТЬ ВОДЫ

### Типовые задачи и их решения

1. Определите карбонатную жесткость воды, в 1 дм<sup>3</sup> которой содержится 0,972 г гидрокарбоната кальция Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> и 0,348 г гидрокарбоната магния Mg(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.

**Дано:**

$$V(\text{H}_2\text{O}) = 1 \text{ дм}^3$$

$$m(\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2) = 0,972 \text{ г}$$

$$m(\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2) = 0,348 \text{ г}$$

$$\text{Ж}_к - ?$$

**Решение**

Карбонатная жесткость воды определяется содержанием миллимоль эквивалентов катионов Ca<sup>2+</sup> и Mg<sup>2+</sup> в дм<sup>3</sup> воды (ммоль/дм<sup>3</sup>):

$$\text{Ж}_к = \frac{m(\text{Ca}^{2+})}{M_3(\text{Ca}^{2+}) \cdot V(\text{H}_2\text{O})} + \frac{m(\text{Mg}^{2+})}{M_3(\text{Mg}^{2+}) \cdot V(\text{H}_2\text{O})},$$

где  $m(\text{Ca}^{2+})$  и  $m(\text{Mg}^{2+})$  – массы катионов металлов в воде, мг;

$M_3(\text{Ca}^{2+}) = 20$  мг/ммоль и  $M_3(\text{Mg}^{2+}) = 12$  мг/ммоль – молярные массы эквивалентов двухзарядных катионов металлов;

$V(\text{H}_2\text{O})$  – объем воды, дм<sup>3</sup>.

Рассчитаем массу катионов Ca<sup>2+</sup>, содержащихся в 0,972 г гидрокарбоната кальция.

Поскольку молярная масса гидрокарбоната кальция равна  $M(\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2) = 162$  г/моль, а молярная масса катиона кальция  $M(\text{Ca}^{2+}) = 40$  г/моль, то можно составить пропорцию:

$$162 \text{ г Ca}(\text{HCO}_3)_2 \text{ содержит } 40 \text{ г Ca}^{2+};$$

$$0,972 \text{ г Ca}(\text{HCO}_3)_2 \text{ содержит } m \text{ г Ca}^{2+}.$$

$$\text{Откуда } m(\text{Ca}^{2+}) = 0,972 \cdot 40/162 = 0,24 \text{ г} = 240 \text{ мг}.$$

Рассчитаем массу катионов Mg<sup>2+</sup>, содержащихся в 0,348 г гидрокарбоната магния.

Поскольку молярная масса гидрокарбоната магния равна  $M(\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2) = 146$  г/моль, а молярная масса катиона магния  $M(\text{Mg}^{2+}) = 24$  г/моль, то можно составить пропорцию:

146 г  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$  содержит 24 г  $\text{Mg}^{2+}$ ;

0,348 г  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$  содержит  $m$  г  $\text{Mg}^{2+}$ .

Откуда  $m(\text{Mg}^{2+}) = 0,348 \cdot 24 / 146 = 0,057$  г = 57 мг.

Подставляем полученные массы катионов металлов в формулу для определения жесткости:

$$J_{\text{к}} = \frac{240}{20 \cdot 1} + \frac{57}{12 \cdot 1} = 16,75 \text{ ммоль/дм}^3.$$

**Ответ:**  $J_{\text{к}} = 16,75$  ммоль/дм<sup>3</sup>.

2. В 500 см<sup>3</sup> воды содержится 0,038 г ионов магния ( $\text{Mg}^{2+}$ ) и 0,108 г ионов кальция ( $\text{Ca}^{2+}$ ). Вычислите общую жесткость воды.

**Дано:**

$$V(\text{H}_2\text{O}) = 500 \text{ см}^3$$

$$m(\text{Mg}^{2+}) = 0,038 \text{ г}$$

$$m(\text{Ca}^{2+}) = 0,108 \text{ г}$$

$$J_{\text{о}} - ?$$

**Решение**

Общая жесткость воды определяется по формуле

$$J_{\text{о}} = C_{\text{с}}(\text{Ca}^{2+}) + C_{\text{с}}(\text{Mg}^{2+}) = \frac{m(\text{Ca}^{2+})}{M_{\text{с}}(\text{Ca}^{2+}) \cdot V(\text{H}_2\text{O})} + \frac{m(\text{Mg}^{2+})}{M_{\text{с}}(\text{Mg}^{2+}) \cdot V(\text{H}_2\text{O})}.$$

Молярные массы эквивалентов ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ :  $M_{\text{с}}(\text{Ca}^{2+}) = 20$  мг/ммоль;  
 $M_{\text{с}}(\text{Mg}^{2+}) = 12$  мг/ммоль.

Подставляем значения в формулу и определяем общую жесткость воды:

$$J_{\text{о}} = \frac{108}{20 \cdot 0,5} + \frac{38}{12 \cdot 0,5} = 17,1 \text{ ммоль/дм}^3.$$

**Ответ:**  $J_{\text{о}} = 17,1$  ммоль/дм<sup>3</sup>.

3. Определите массу ортофосфата натрия  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ , необходимую для умягчения 100 дм<sup>3</sup> воды, некарбонатная жесткость которой обусловлена присутствием хлорида кальция  $\text{CaCl}_2$  и равна 5,6 ммоль/дм<sup>3</sup>.

**Дано:**

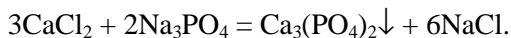
$$V(\text{H}_2\text{O}) = 100 \text{ дм}^3$$

$$\mathcal{J}_n = 5,6 \text{ ммоль/дм}^3$$

$$m(\text{Na}_3\text{PO}_4) - ?$$

**Решение**

Устранение данной жесткости протекает согласно следующей реакции:



По закону эквивалентов число ммоль эквивалентов катионов кальция  $\text{Ca}^{2+}$  равно числу ммоль эквивалентов ортофосфата натрия  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ , т. е.  $n_3(\text{Ca}^{2+}) = n_3(\text{Na}_3\text{PO}_4)$ .

Из определения некарбонатной жесткости  $\mathcal{J}_n = n_3 / V$  определяем число ммоль эквивалентов катионов кальция в данном объеме воды:

$$n_3(\text{Ca}^{2+}) = \mathcal{J}_n \cdot V.$$

По определению

$$n_3(\text{Na}_3\text{PO}_4) = \frac{m(\text{Na}_3\text{PO}_4)}{M_3(\text{Na}_3\text{PO}_4)}.$$

Тогда

$$\frac{m(\text{Na}_3\text{PO}_4)}{M_3(\text{Na}_3\text{PO}_4)} = \mathcal{J}_n \cdot V,$$

откуда получаем

$$m(\text{Na}_3\text{PO}_4) = n_3(\text{Na}_3\text{PO}_4) \cdot M_3(\text{Na}_3\text{PO}_4) = \mathcal{J}_n \cdot V \cdot M_3(\text{Na}_3\text{PO}_4),$$

где  $M_3(\text{Na}_3\text{PO}_4) = M(\text{Na}_3\text{PO}_4) / 3 = 164 / 3 = 54,7 \text{ мг/ммоль}$ .

Подставляем значения и определяем массу  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ :

$$m(\text{Na}_3\text{PO}_4) = 5,6 \cdot 100 \cdot 54,7 = 30632 \text{ мг} = 30,6 \text{ г}.$$

**Ответ:**  $m(\text{Na}_3\text{PO}_4) = 30,6 \text{ г}$ .

## Задачи I уровня

1. Вычислите карбонатную жесткость воды, 1 дм<sup>3</sup> которой содержит 0,486 г гидрокарбоната кальция Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> и 0,264 г гидрокарбоната магния Mg(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.

2. Определите массу сульфата кальция CaSO<sub>4</sub> в 400 см<sup>3</sup> воды, если жесткость, обусловленная этой солью, равна 4 ммоль/дм<sup>3</sup>.

3. Вычислите общую жесткость воды, если в 10 дм<sup>3</sup> воды содержится 1,42 г ионов кальция Ca<sup>2+</sup> и 0,24 г ионов магния Mg<sup>2+</sup>.

4. Определите массу гидроксида кальция Ca(OH)<sub>2</sub>, необходимую для умягчения 100 дм<sup>3</sup> воды, карбонатная жесткость которой равна 3,8 ммоль/дм<sup>3</sup>?

5. Определите массу хлорида магния MgCl<sub>2</sub> в 500 см<sup>3</sup> воды, если жесткость, обусловленная этой солью, равна 4,2 ммоль/дм<sup>3</sup>.

6. Определите массу ортофосфата натрия Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, необходимую для умягчения 1 м<sup>3</sup> воды, некарбонатная жесткость которой равна 3,6 ммоль/дм<sup>3</sup>.

7. Вычислите карбонатную жесткость воды, 1 дм<sup>3</sup> которой содержит 0,642 г гидрокарбоната кальция Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> и 0,388 г гидрокарбоната магния Mg(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.

8. Определите массу карбоната натрия Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, необходимую для умягчения 20 дм<sup>3</sup> воды, некарбонатная жесткость которой равна 7,53 ммоль/дм<sup>3</sup> и обусловлена наличием хлорида кальция CaCl<sub>2</sub>.

9. Определите некарбонатную жесткость воды, 1 дм<sup>3</sup> которой содержит 1,246 г хлорида кальция CaCl<sub>2</sub>.

10. Определите карбонатную жесткость воды, 1 дм<sup>3</sup> которой содержит 0,842 г гидрокарбоната кальция Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.

11. Определите массу ортофосфата натрия Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, необходимую для умягчения 10 м<sup>3</sup> воды, некарбонатная жесткость которой равна 4,2 ммоль/дм<sup>3</sup>.

12. Определите массу хлорида кальция CaCl<sub>2</sub> в 600 см<sup>3</sup> воды, если жесткость, обусловленная этой солью, равна 8,64 ммоль/дм<sup>3</sup>.

13. Определите массу сульфата магния MgSO<sub>4</sub> в 500 см<sup>3</sup> воды, если жесткость, обусловленная этой солью, равна 6,8 ммоль/дм<sup>3</sup>.

14. Вычислите некарбонатную жесткость воды, 1 дм<sup>3</sup> которой содержит 0,342 г хлорида кальция CaCl<sub>2</sub> и 0,528 г хлорида магния MgCl<sub>2</sub>.

15. Вычислите карбонатную жесткость воды, 500 см<sup>3</sup> которой содержит 0,142 г гидрокарбоната магния Mg(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> и 0,278 г гидрокарбоната кальция Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.

## Задачи II уровня

1. На титрование  $100 \text{ см}^3$  воды, содержащей гидрокарбонат кальция  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ , израсходовано  $40 \text{ см}^3$  раствора соляной кислоты с молярной концентрацией эквивалента  $C_e$  (HCl), равной  $0,15 \text{ моль/дм}^3$ . Рассчитайте жесткость и определите массу гидрокарбоната кальция, содержащегося в  $50 \text{ дм}^3$  этой воды.

2. При кипячении  $4 \text{ дм}^3$  воды, содержащей только гидрокарбонат кальция  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ , образовался осадок массой  $42 \text{ мг}$ . Определите жесткость воды и массу соли в  $0,2 \text{ м}^3$  этой воды.

3. Для устранения общей жесткости к  $80 \text{ дм}^3$  воды добавили  $20 \text{ г}$  гидроксида кальция  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и  $15 \text{ г}$  ортофосфата натрия  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ . Рассчитайте общую жесткость воды.

4. При кипячении  $6 \text{ дм}^3$  воды, содержащей только гидрокарбонат магния  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ , образовался осадок массой  $78 \text{ мг}$ . Определите жесткость воды и массу соли в  $0,5 \text{ м}^3$  этой воды.

5. На титрование  $100 \text{ см}^3$  воды, содержащей гидрокарбонат магния  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ , израсходовано  $25 \text{ см}^3$  раствора соляной кислоты с молярной концентрацией эквивалента  $C_e$  (HCl), равной  $0,1 \text{ моль/дм}^3$ . Рассчитайте жесткость воды и определите массу  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ , содержащегося в  $0,4 \text{ м}^3$  этой воды.

## Контрольные задачи

1. Определите массу ортофосфата натрия  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ , необходимую для умягчения  $1 \text{ м}^3$  воды, некарбонатная жесткость которой равна  $6,2 \text{ ммоль/дм}^3$ .

2. Вычислите карбонатную жесткость воды, если  $1 \text{ дм}^3$  ее содержит  $0,525 \text{ г}$  гидрокарбоната кальция  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ .

3. Определите массу хлорида магния  $\text{MgCl}_2$  в  $1 \text{ дм}^3$  воды, если жесткость, обусловленная этой солью, равна  $4,8 \text{ ммоль/дм}^3$ .

4. Вычислите некарбонатную жесткость воды, если  $1 \text{ дм}^3$  ее содержит  $0,486 \text{ г}$  хлорида кальция  $\text{CaCl}_2$  и  $0,264 \text{ г}$  хлорида магния  $\text{MgCl}_2$ .

5. Определите массу гидроксида кальция  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , необходимую для умягчения  $100 \text{ дм}^3$  воды, карбонатная жесткость которой равна  $5,5 \text{ ммоль/дм}^3$ .

6. Вычислите общую жесткость воды, если в  $10 \text{ дм}^3$  воды содержится  $1,42 \text{ г}$  ионов кальция  $\text{Ca}^{2+}$  и  $0,24 \text{ г}$  ионов магния  $\text{Mg}^{2+}$ .

7. Определите массу сульфата кальция  $\text{CaSO}_4$  в  $500 \text{ см}^3$  воды, если жесткость, обусловленная этой солью, равна  $4,2 \text{ ммоль/дм}^3$ .

8. Определите массу карбоната натрия  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , необходимую для умягчения  $10 \text{ дм}^3$  воды, некарбонатная жесткость которой равна  $4,8 \text{ ммоль/дм}^3$ .

9. Определите массу хлорида кальция  $\text{CaCl}_2$  в  $600 \text{ см}^3$  воды, если жесткость, обусловленная этой солью, равна  $3,5 \text{ ммоль/дм}^3$ .

10. Вычислите карбонатную жесткость воды, если  $1 \text{ дм}^3$  ее содержит  $0,246 \text{ г}$  гидрокарбоната магния  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ .

11. Вычислите некарбонатную жесткость воды, если  $1 \text{ дм}^3$  ее содержит  $0,399 \text{ г}$  хлорида магния  $\text{MgCl}_2$ .

12. Вычислите общую жесткость воды, если в  $10 \text{ дм}^3$  воды содержится  $2,38 \text{ г}$  ионов кальция  $\text{Ca}^{2+}$  и  $1,22 \text{ г}$  ионов магния  $\text{Mg}^{2+}$ .

13. Вычислите карбонатную жесткость воды, если  $1 \text{ дм}^3$  ее содержит  $0,264 \text{ г}$  гидрокарбоната магния  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ .

14. Определите массу гидроксида кальция  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , необходимую для умягчения  $50 \text{ дм}^3$  воды, карбонатная жесткость которой равна  $3,8 \text{ ммоль/дм}^3$  и обусловлена содержанием гидрокарбоната магния  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ .

15. Определите массу сульфата магния  $\text{MgSO}_4$  в  $700 \text{ см}^3$  воды, если жесткость, обусловленная этой солью, равна  $3,6 \text{ ммоль/дм}^3$ .

16. Определите массу ортофосфата натрия  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ , необходимую для умягчения  $80 \text{ дм}^3$  воды, карбонатная жесткость которой равна  $7,2 \text{ ммоль/дм}^3$ .

17. Определите массу карбоната натрия  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , необходимую для умягчения  $60 \text{ дм}^3$  воды, карбонатная жесткость которой равна  $3,8 \text{ ммоль/дм}^3$ .

18. Определите массу хлорида кальция  $\text{CaCl}_2$  в  $500 \text{ см}^3$  воды, если жесткость, обусловленная этой солью, равна  $4,7 \text{ ммоль/дм}^3$ .

19. Вычислите общую жесткость воды, если в  $10 \text{ дм}^3$  воды содержится  $1,74 \text{ г}$  ионов кальция  $\text{Ca}^{2+}$  и  $0,52 \text{ г}$  ионов магния  $\text{Mg}^{2+}$ .

20. Определите массу ортофосфата натрия  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ , необходимую для умягчения  $70 \text{ дм}^3$  воды, некарбонатная жесткость которой равна  $6,4 \text{ ммоль/дм}^3$ .

21. Определите массу сульфата кальция  $\text{CaSO}_4$  в  $400 \text{ см}^3$  воды, если жесткость, обусловленная этой солью, равна  $5,2 \text{ ммоль/дм}^3$ .

**22.** Вычислите карбонатную жесткость воды, если 1 дм<sup>3</sup> ее содержит 0,534 г гидрокарбоната кальция Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> и 0,364 г гидрокарбоната магния Mg(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.

**23.** Определите массу гидроксида кальция Ca(OH)<sub>2</sub>, необходимую для умягчения 90 дм<sup>3</sup> воды, карбонатная жесткость которой равна 4,3 ммоль/дм<sup>3</sup> и обусловлена содержанием гидрокарбоната кальция Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.

**24.** Определите массу хлорида магния MgCl<sub>2</sub> в 800 см<sup>3</sup> воды, если жесткость, обусловленная этой солью, равна 5,6 ммоль/дм<sup>3</sup>.

**25.** Вычислите карбонатную жесткость воды, если 1 дм<sup>3</sup> ее содержит 0,630 г гидрокарбоната кальция Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> и 0,438 г гидрокарбоната магния Mg(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.

**26.** Определите массу карбоната натрия Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, необходимую для умягчения 60 дм<sup>3</sup> воды, некарбонатная жесткость которой равна 4,9 ммоль/дм<sup>3</sup>.

**27.** Определите массу хлорида кальция CaCl<sub>2</sub> в 900 см<sup>3</sup> воды, если жесткость, обусловленная этой солью, равна 3,5 ммоль/дм<sup>3</sup>.

**28.** Вычислите карбонатную жесткость воды, если 1 дм<sup>3</sup> ее содержит 0,564 г гидрокарбоната магния Mg(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.

**29.** Определите массу ортофосфата натрия Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, необходимую для умягчения 50 дм<sup>3</sup> воды, некарбонатная жесткость которой равна 4,1 ммоль/дм<sup>3</sup>.

**30.** Вычислите общую жесткость воды, если в 10 дм<sup>3</sup> воды содержится 0,98 г ионов кальция Ca<sup>2+</sup> и 0,44 г ионов магния Mg<sup>2+</sup>.



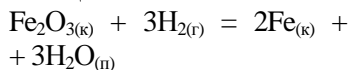
## 6. ЭНЕРГЕТИКА ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

### Типовые задачи и их решения

1. Рассчитайте тепловой эффект реакции получения железа методом восстановления оксида железа (III) водородом:  $\text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{к})} + 3\text{H}_{2(\text{г})} = 2\text{Fe}_{(\text{к})} + 3\text{H}_2\text{O}_{(\text{п})}$ , пользуясь термодинамическими величинами (табл. 1). Запишите термохимическое уравнение. Сделайте вывод: экзо- или эндотермической является данная реакция.

**Дано:**

Реакция:

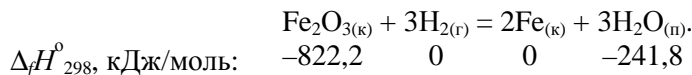


$$\Delta_r H^\circ_{298} = ?$$

**Решение**

Из табл. 1 выписываем значения стандартных энтальпий образования сложных веществ  $\Delta_f H^\circ_{298}$  для данной реакции.

Для простых веществ (Fe, H<sub>2</sub>)  $\Delta_f H^\circ_{298}$  равны нулю.



Согласно следствию из закона Гесса изменение энтальпии химической реакции (тепловой эффект реакции) будет равно разности между суммой стандартных энтальпий образования продуктов реакции и суммой стандартных энтальпий образования исходных веществ с учетом стехиометрических коэффициентов ( $n_i$  и  $n_j$ ):

$$\Delta_r H^\circ_{298} = \sum n_i \cdot \Delta_f H^\circ_{298} (\text{прод. реакции}) - \sum n_j \cdot \Delta_f H^\circ_{298} (\text{исх. в-в}).$$

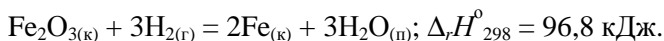
Для данной реакции

$$\begin{aligned} \Delta_r H^\circ_{298} &= [2 \cdot \Delta_f H^\circ_{298}(\text{Fe}_{(\text{к})}) + 3 \cdot \Delta_f H^\circ_{298}(\text{H}_2\text{O}_{(\text{п})})] - \\ &- [1 \cdot \Delta_f H^\circ_{298}(\text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{к})}) + 3 \cdot \Delta_f H^\circ_{298}(\text{H}_{2(\text{г})})]. \end{aligned}$$

Подставляем значения и вычисляем тепловой эффект:

$$\Delta_r H^\circ_{298} = [2 \cdot 0 + 3 \cdot (-241,8)] - [1 \cdot (-822,2) + 3 \cdot 0] = 96,8 \text{ кДж.}$$

Реакция эндотермическая – происходит поглощение теплоты, т. к.  $\Delta_r H^\circ_{298} > 0$ . Термохимическое уравнение будет иметь вид:



**Ответ:**  $\Delta_r H^\circ_{298} = 96,8 \text{ кДж.}$

Таблица 1

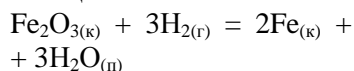
Стандартные энтальпии образования веществ

Вещество, (состояние)	$\Delta_f H^\circ_{298}$ , кДж/моль	Вещество, (состояние)	$\Delta_f H^\circ_{298}$ , кДж/моль
$\text{Al}_2\text{O}_{3(\text{т})}$	-1676,0	$\text{H}_2\text{S}_{(\text{г})}$	-21,0
$\text{CH}_{4(\text{г})}$	-74,9	$\text{KCl}_{(\text{к})}$	-435,9
$\text{C}_2\text{H}_2_{(\text{г})}$	226,8	$\text{KClO}_{3(\text{к})}$	-391,2
$\text{C}_2\text{H}_4_{(\text{г})}$	52,3	$\text{MgO}_{(\text{к})}$	-601,8
$\text{CO}_{(\text{г})}$	-110,5	$\text{MgCO}_{3(\text{к})}$	-1113,0
$\text{CO}_{2(\text{г})}$	-393,5	$\text{NO}_{(\text{г})}$	90,2
$\text{CH}_3\text{OH}_{(\text{ж})}$	-238,6	$\text{NO}_{2(\text{г})}$	33,0
$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_{(\text{г})}$	-235,3	$\text{N}_2\text{O}_{(\text{г})}$	82,0
$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_{(\text{ж})}$	-277,6	$\text{NH}_{3(\text{г})}$	-46,2
$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_{6(\text{п-п})}$	-1264,0	$\text{NH}_4\text{Cl}_{(\text{к})}$	-314,2
$\text{CaCO}_{3(\text{к})}$	-1206,9	$\text{NH}_4\text{NO}_{3(\text{т})}$	-365,4
$\text{CaO}_{(\text{к})}$	-635,5	$(\text{NH}_2)_2\text{CO}_{(\text{т})}$	-319,2
$\text{Ca}(\text{OH})_{2(\text{к})}$	-986,2	$\text{NiCl}_{2(\text{к})}$	-304,2
$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2(\text{к})$	-4137,6	$\text{NiO}_{(\text{к})}$	-239,7
$\text{Ca}_3\text{N}_{2(\text{к})}$	-431,8	$\text{P}_2\text{O}_{5(\text{к})}$	-2984,0
$\text{Cr}_2\text{O}_{3(\text{к})}$	-1440,6	$\text{PdO}_{(\text{т})}$	-115,5
$\text{FeO}_{(\text{к})}$	-272,0	$\text{SO}_{2(\text{г})}$	-296,9
$\text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{к})}$	-822,2	$\text{SO}_{3(\text{г})}$	-395,8
$\text{Fe}_3\text{O}_4(\text{к})$	-1118,4	$\text{SiH}_{4(\text{г})}$	34,7
$\text{H}_2\text{O}_{(\text{и})}$	-241,8	$\text{SiO}_{2(\text{т})}$	-910,9
$\text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}$	-285,8	$\text{TiO}_{2(\text{к})}$	-943,9
$\text{HCl}_{(\text{г})}$	-91,8	$\text{WO}_{3(\text{к})}$	-842,7

2. Вычислите изменение энтропии реакции, рассмотренной в задаче 1, используя величины абсолютных стандартных энтропий веществ, приведенные в табл. 2.

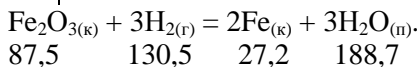
**Дано:**

Реакция:



$$\Delta_r S^\circ_{298} - ?$$

$$S^\circ_{298}, \text{ Дж}/(\text{моль}\cdot\text{К}):$$



**Решение**

Из табл. 2 выписываем значения абсолютных стандартных энтропий веществ:

Используем следствие из закона Гесса:

$$\Delta_r S^\circ_{298} = \sum n_i \cdot S^\circ_{298}(\text{прод. реакции}) - \sum n_j \cdot S^\circ_{298}(\text{исх. в-в}).$$

$$\Delta_r S^\circ_{298} = [2 \cdot S^\circ_{298}(\text{Fe}_{(\text{к})}) + 3 \cdot S^\circ_{298}(\text{H}_2\text{O}_{(\text{п})})] - [1 \cdot S^\circ_{298}(\text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{к})}) + 3 \cdot S^\circ_{298}(\text{H}_{2(\text{г})})].$$

Подставляем значения:

$$\Delta_r S^\circ_{298} = (2 \cdot 27,2 + 3 \cdot 188,7) - (1 \cdot 87,5 + 3 \cdot 130,5) = 141,5 \text{ Дж}/\text{К}.$$

Энтропия реакции увеличивается ( $\Delta_r S^\circ_{298} > 0$ ).

**Ответ:**  $\Delta_r S^\circ_{298} = 141,5 \text{ Дж}/\text{К}.$

Таблица 2

Абсолютные стандартные энтропии веществ

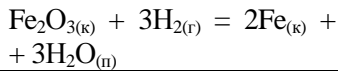
Вещество, (состояние)	$S^\circ_{298}$ , Дж/(моль·К)	Вещество, (состояние)	$S^\circ_{298}$ , Дж/(моль·К)
$\text{Al}_{(\text{к})}$	28,35	$\text{KCl}_{(\text{к})}$	82,6
$\text{Al}_2\text{O}_{3(\text{к})}$	50,9	$\text{KClO}_{3(\text{к})}$	143,0
$\text{C}$ (уголь, графит)	5,7	$\text{N}_{2(\text{г})}$	191,5
$\text{CH}_{4(\text{г})}$	186,2	$\text{NH}_{3(\text{г})}$	192,6
$\text{C}_2\text{H}_{2(\text{г})}$	200,8	$\text{NH}_4\text{Cl}_{(\text{к})}$	95,8
$\text{CH}_3\text{OH}_{(\text{г})}$	160,7	$\text{NH}_4\text{NO}_{3(\text{т})}$	151,0
$\text{CH}_3\text{OH}_{(\text{ж})}$	126,8	$\text{NO}_{(\text{г})}$	210,6
$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_{(\text{ж})}$	160,7	$\text{NO}_{2(\text{г})}$	240,2

Вещество, (состояние)	$S_{298}^{\circ}$ , Дж/(моль·К)	Вещество, (состояние)	$S_{298}^{\circ}$ , Дж/(моль·К)
$C_6H_{12}O_6(p-p)$	269,0	$N_2O(r)$	219,9
$CO(r)$	197,6	$(NH_2)_2CO(r)$	173,8
$CO_2(r)$	213,7	$Ni_{(к)}$	29,9
$CaO_{(к)}$	39,7	$NiCl_2_{(к)}$	98,1
$Ca(OH)_2_{(к)}$	76,1	$NiO_{(к)}$	38,0
$Ca_3(PO_4)_2_{(к)}$	236,0	$O_2(r)$	205,0
$Ca_3N_2_{(к)}$	105,0	$P_2O_5_{(к)}$	114,5
$Cr_{(к)}$	23,6	$Pd_{(т)}$	37,7
$Cr_2O_3_{(к)}$	81,2	$PdO(r)$	38,9
$Fe_{(к)}$	27,2	$SO_2(r)$	248,1
$Fe_2O_3_{(к)}$	87,5	$SiH_4(r)$	204,8
$H_2(r)$	130,5	$SiO_2(t)$	41,8
$HCl(r)$	186,8	$Ti_{(к)}$	30,6
$H_2O_{(т)}$	188,7	$TiO_2_{(к)}$	50,3
$H_2O_{(ж)}$	70,1	$W_{(к)}$	32,7
$H_2S(r)$	205,7	$WO_3_{(к)}$	75,9

3. Вычислите изменение энергии Гиббса реакции получения железа методом восстановления оксида железа (III) водородом (см. задачи 1, 2): а) при стандартных условиях; б) при температуре 1273 К. Сделайте вывод о возможности протекания реакции. Найдите минимальную температуру, при которой реакция будет протекать самопроизвольно.

**Дано:**

Реакция:



а)  $\Delta_r G_{298}^{\circ} - ?$

б)  $\Delta_r G_{1273}^{\circ} - ?$

в)  $T_{min} - ?$

**Решение**

О возможности самопроизвольного протекания реакции можно судить по характеру изменения энергии Гиббса.

Используем данные, полученные в решенных задачах 1 и 2:

– изменение энтальпии:  $\Delta_r H_{298}^{\circ} = 96,8$  кДж (см. задачу 1);

– изменение энтропии:  $\Delta_r S_{298}^{\circ} = 141,5$  Дж/К (см. задачу 2).

а) определяем значение  $\Delta_r G^{\circ}_{298}$ , используя два способа:  
 1) уравнение Гиббса:

$$\Delta_r G^{\circ}_{298} = \Delta_r H^{\circ}_{298} - T \cdot \Delta_r S^{\circ}_{298}.$$

Подставляем значения:

$$\Delta_r G^{\circ}_{298} = 96,8 - (298 \cdot 141,5 \cdot 10^{-3}) = 54,6 \text{ кДж}.$$

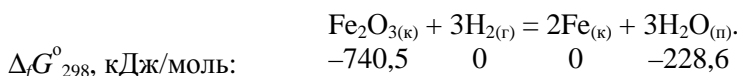
Здесь введен множитель  $10^{-3}$ , поскольку  $\Delta_r H^{\circ}_{298}$  выражен в килджоулях, а  $T \cdot \Delta_r S^{\circ}_{298}$  имеет размерность в джоулях.

Результат расчета показывает, что реакция при стандартных условиях (298 К) самопроизвольно протекать не может, поскольку  $\Delta_r G^{\circ}_{298} > 0$ ;

2) следствие из закона Гесса:

$$\Delta_r G^{\circ}_{298} = \sum n_i \cdot \Delta_f G^{\circ}_{298} (\text{прод. реакции}) - \sum n_j \cdot \Delta_f G^{\circ}_{298} (\text{исх. в-в}).$$

Из табл. 3 выписываем значения стандартных энергий Гиббса образования веществ  $\Delta_f G^{\circ}_{298}$ . Для простых веществ (Fe, H<sub>2</sub>)  $\Delta_f G^{\circ}_{298}$  равны нулю.



Подставляем значения  $\Delta_f G^{\circ}_{298}$  веществ:

$$\Delta_r G^{\circ}_{298} = [2 \cdot \Delta_f G^{\circ}_{298}(\text{Fe}_{(\text{к})}) + 3 \cdot \Delta_f G^{\circ}_{298}(\text{H}_2\text{O}_{(\text{н})})] - [1 \cdot \Delta_f G^{\circ}_{298}(\text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{к})}) + 3 \cdot \Delta_f G^{\circ}_{298}(\text{H}_{2(\text{г})})].$$

Подставляем значения:

$$\Delta_r G^{\circ}_{298} = [2 \cdot 0 + 3 \cdot (-228,6)] - [1 \cdot (-740,5) + 3 \cdot 0] = 54,7 \text{ кДж}.$$

На основании расчетов делаем вывод, что реакция при стандартных условиях (298 К) самопроизвольно протекать не может, поскольку  $\Delta_r G^{\circ}_{298} > 0$ ;

б) определяем значение  $\Delta_r G^{\circ}_{1273}$  (при  $T = 1273$  К):

$$\Delta_r G^{\circ}_{1273} = 96,8 - (1273 \cdot 141,5 \cdot 10^{-3}) = -83,3 \text{ кДж.}$$

Поскольку  $\Delta_r G^{\circ}_{1273} < 0$ , то реакция становится возможной при 1273°К;

в) определяем минимальную температуру, выше которой реакция будет протекать самопроизвольно. Эта температура определяется из условия, что  $\Delta_r G^{\circ} = 0$ :

$$\Delta_r G^{\circ} = \Delta_r H^{\circ}_{298} - T_{\min} \cdot \Delta_r S^{\circ}_{298},$$

откуда

$$T_{\min} = \frac{\Delta_r H^{\circ}_{298}}{\Delta_r S^{\circ}_{298}}.$$

Подставляем значения и определяем  $T_{\min}$ :

$$T_{\min} = 96,8 / (141,5 \cdot 10^{-3}) = 684 \text{ К (411 } ^{\circ}\text{C)}.$$

При температуре выше 684 °С реакция становится возможной, поскольку  $\Delta_r G^{\circ} < 0$ .

**Ответ:** а)  $\Delta_r G^{\circ}_{298} = 54,6$  кДж;

б)  $\Delta_r G^{\circ}_{1273} = -83,3$  кДж;

в)  $T_{\min} = 684$  К.

Таблица 3

Стандартные энергии Гиббса образования веществ

Вещество, (состояние)	$\Delta_f G^{\circ}_{298}$ кДж/моль	Вещество, (состояние)	$\Delta_f G^{\circ}_{298}$ , кДж/моль
$Al_2O_3(к)$	-1582,0	$HCl(г)$	-94,8
$BeO(к)$	-582,0	$H_2O(л)$	-228,6
$BeCO_3(к)$	-944,7	$H_2O(ж)$	-237,2
$C_2H_2(г)$	208,4	$H_2S(г)$	-33,5

Вещество, (состояние)	$\Delta_f G^{\circ}_{298}$ кДж/моль	Вещество, (состояние)	$\Delta_f G^{\circ}_{298}$ , кДж/моль
$\text{CH}_4(\text{г})$	-50,79	$\text{MgO}(\text{к})$	-569,6
$\text{CO}(\text{г})$	-137,1	$\text{MgCO}_3(\text{к})$	-1029,3
$\text{CO}_2(\text{г})$	-394,4	$\text{NH}_3(\text{г})$	-16,51
$\text{CaC}_2(\text{г})$	-67,8	$\text{NH}_4\text{NO}_3(\text{г})$	-183,77
$\text{CaO}(\text{к})$	-604,2	$\text{N}_2\text{O}(\text{г})$	103,7
$\text{Ca}(\text{OH})_2(\text{г})$	-896,8	$\text{NO}(\text{г})$	86,6
$\text{CaCO}_3(\text{к})$	-1128,8	$\text{NO}_2(\text{г})$	51,5
$\text{CuO}(\text{к})$	-129,4	$\text{NiCl}_2(\text{к})$	-258,0
$\text{Cr}_2\text{O}_3(\text{к})$	-1059,0	$\text{SiH}_4(\text{г})$	57,2
$\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{к})$	-740,5	$\text{WO}_3(\text{к})$	-763,9
$\text{Fe}(\text{OH})_2(\text{к})$	-479,7	$\text{ZnCl}_2(\text{к})$	-369,4
$\text{Fe}(\text{OH})_3(\text{к})$	-699,6	$\text{ZnO}(\text{к})$	-320,7

### Задачи I уровня

1. Пользуясь термодинамическими величинами (табл. 1), определите тепловой эффект реакции  $2\text{NO}(\text{г}) + \text{O}_2(\text{г}) = 2\text{NO}_2(\text{г})$ . Запишите термохимическое уравнение. Сделайте вывод: экзо- или эндотермической является данная реакция.

2. Рассчитайте тепловой эффект химической реакции  $3\text{CaO}(\text{к}) + \text{P}_2\text{O}_5(\text{к}) = \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2(\text{к})$ , пользуясь термодинамическими величинами (табл. 1). Запишите термохимическое уравнение. Сделайте вывод: экзо- или эндотермической является данная реакция.

3. Определите  $\Delta_f G^{\circ}_{298}$  реакции получения вольфрама из оксида вольфрама (VI) по уравнению реакции  $\text{WO}_3(\text{к}) + 3\text{Ca}(\text{к}) = \text{W}(\text{к}) + 3\text{CaO}(\text{к})$ , пользуясь термодинамическими величинами из табл. 3. Сделайте вывод: будет ли протекать реакция при стандартных условиях.

4. Вычислите тепловой эффект восстановления магнитного железа по уравнению реакции  $\text{Fe}_3\text{O}_4(\text{к}) + \text{CO}(\text{г}) = 3\text{FeO}(\text{к}) + \text{CO}_2(\text{г})$ , пользуясь стандартными энтальпиями образования веществ (табл. 1). Запишите термохимическое уравнение. Сделайте вывод: экзо- или эндотермической является данная реакция.

5. Вычислите тепловой эффект реакции восстановления оксида железа (III):  $\text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{k})} + 3\text{CO}_{(\text{r})} = 2\text{Fe}_{(\text{k})} + 3\text{CO}_{2(\text{r})}$ , пользуясь стандартными энтальпиями образования веществ (табл. 1). Запишите термохимическое уравнение. Сделайте вывод: экзо- или эндотермической является данная реакция.

6. Протекает ли реакция  $4\text{Fe}(\text{OH})_{2(\text{k})} + \text{O}_{2(\text{r})} + 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})} = 4\text{Fe}(\text{OH})_{3(\text{k})}$  при стандартных условиях? Сделайте вывод, вычислив  $\Delta_r G^\circ_{298}$ , используя термодинамические величины из табл. 3.

7. Определите возможность получения хрома по уравнению реакции  $\text{Cr}_2\text{O}_{3(\text{k})} + 2\text{Al}_{(\text{k})} = 2\text{Cr}_{(\text{k})} + \text{Al}_2\text{O}_{3(\text{k})}$ , рассчитав  $\Delta_r G^\circ_{298}$  с использованием термодинамических величин из табл. 3. Сделайте вывод: будет ли протекать самопроизвольно данная реакция при стандартных условиях.

8. На основании расчета  $\Delta_r G^\circ_{298}$  определите возможность протекания реакции  $\text{Zn}_{(\text{k})} + 2\text{HCl}_{(\text{r})} = \text{ZnCl}_{2(\text{k})} + \text{H}_{2(\text{r})}$  при стандартных условиях, используя термодинамические величины из табл. 3.

9. Определите возможность разложения нитрата аммония по уравнению реакции  $\text{NH}_4\text{NO}_{3(\text{r})} = \text{N}_2\text{O}_{(\text{r})} + 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{n})}$  при стандартных условиях, используя термодинамические величины из табл. 3. Сделайте вывод на основании расчета  $\Delta_r G^\circ_{298}$ .

10. Определите, можно ли получить медь при стандартных условиях по реакции  $\text{CuO}_{(\text{k})} + \text{C}_{(\text{r})} = \text{Cu}_{(\text{r})} + \text{CO}_{(\text{r})}$ ? Сделайте вывод на основании расчета  $\Delta_r G^\circ_{298}$ , используя термодинамические величины из табл. 3.

11. Определите тепловой эффект реакции горения хлороводорода по реакции:  $4\text{HCl}_{(\text{r})} + \text{O}_{2(\text{r})} = 2\text{Cl}_{2(\text{r})} + 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{n})}$ , пользуясь стандартными энтальпиями образования веществ (табл. 1). Запишите термохимическое уравнение. Сделайте вывод: экзо- или эндотермической является данная реакция.

12. Определите, можно ли получить медь при стандартных условиях по реакции  $\text{CuO}_{(\text{k})} + \text{H}_{2(\text{r})} = \text{Cu}_{(\text{r})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}$ ? Сделайте вывод на основании расчета  $\Delta_r G^\circ_{298}$ , используя термодинамические величины из табл. 3.

13. Будет ли протекать при стандартных условиях реакция  $\text{WO}_{3(\text{k})} + 3\text{CO}_{(\text{r})} = \text{W}_{(\text{k})} + 3\text{CO}_{2(\text{r})}$ ? Сделайте вывод на основании расчета  $\Delta_r G^\circ_{298}$ , используя термодинамические величины из табл. 3.



**14.** Пользуясь термодинамическими величинами (табл. 1), рассчитайте тепловой эффект реакции получения этилового спирта по уравнению реакции  $C_2H_{4(g)} + H_2O_{(л)} = C_2H_5OH_{(г)}$ . Запишите данное термохимическое уравнение. Сделайте вывод: экзо- или эндотермической является данная реакция.

**15.** Железо под воздействием внешней среды ( $H_2O$ ,  $O_2$ ) ржавеет, т. е. подвергается коррозии. Определите, какое состояние для железа ( $Fe^0$  или  $Fe^{+3}$ ) является термодинамически более устойчивым. Сделайте вывод на основании расчета  $\Delta_r G^{\circ}_{298}$  для реакции  $4Fe_{(к)} + 3O_{2(г)} + 6H_2O_{(л)} = 4Fe(OH)_{3(к)}$ , используя термодинамические величины из табл. 3.

## Задачи II уровня

**1.** Пользуясь термодинамическими величинами (табл. 1), рассчитайте количество теплоты, которое выделится при стандартных условиях при гашении водой 500 кг негашеной извести  $CaO$ , содержащей 20 % примесей.

**2.** При взаимодействии 20 г алюминия с кислородом при стандартных условиях выделилось 609,6 кДж теплоты. Определите стандартную энтальпию образования оксида алюминия  $\Delta_f H^{\circ}_{298}(Al_2O_{3(к)})$ . Запишите данное термохимическое уравнение.

**3.** Реакция горения аммиака выражается термохимическим уравнением:  $4NH_{3(г)} + 3O_{2(г)} = 2N_{2(г)} + 6H_2O_{(ж)}$ ,  $\Delta_r H^{\circ}_{298} = -1530,28$  кДж. Вычислите стандартную энтальпию образования аммиака  $\Delta_f H^{\circ}_{298}(NH_{3(г)})$ , если  $\Delta_f H^{\circ}_{298}(H_2O_{(ж)}) = -285,8$  кДж/моль.

**4.** Определите, пользуясь стандартными энтальпиями образования веществ (табл. 1), при сгорании какого вещества: а)  $CH_{4(г)}$ ; б)  $C_2H_5OH_{(г)}$  выделится больше энергии? Учтите, что при полном сгорании веществ образуются  $CO_{2(г)}$  и  $H_2O_{(ж)}$ .

**5.** Реакция получения сульфата аммония выражается термохимическим уравнением:  $2NH_{3(г)} + SO_{3(г)} + H_2O_{(ж)} = (NH_4)_2SO_{4(г)}$ ,  $\Delta_r H^{\circ}_{298} = -406,28$  кДж. Вычислите стандартную энтальпию образования сульфата аммония  $\Delta_f H^{\circ}_{298}((NH_4)_2SO_{4(г)})$ , используя стандартные энтальпии образования остальных веществ реакции из табл. 1.

6. При восстановлении 12,7 г оксида меди (II)  $\text{CuO}$  углем (с образованием  $\text{CO}$ ) поглощается 8,24 кДж теплоты. Определите стандартную энтальпию образования оксида меди (II)  $\Delta_f H^\circ_{298}(\text{CuO}_{(т)})$ .

7. Реакция получения нитрата аммония выражается термохимическим уравнением:  $2\text{N}_{2(г)} + 4\text{H}_2\text{O}_{(л)} + \text{O}_{2(г)} = 2\text{NH}_4\text{NO}_{3(т)}$ ;  $\Delta_r H^\circ_{298} = 236,4$  кДж. Вычислите стандартную энтальпию образования нитрата аммония  $\Delta_f H^\circ_{298}(\text{NH}_4\text{NO}_{3(т)})$ , если  $\Delta_f H^\circ_{298}(\text{H}_2\text{O}_{(л)}) = -241,8$  кДж/моль.

### Контрольные задачи

1. Возможна ли реакция  $\text{Fe}_2\text{O}_{3(к)} + 3\text{CO}_{(г)} = 2\text{Fe}_{(к)} + 3\text{CO}_{2(г)}$  при стандартных условиях? Ответ подтвердите, рассчитав  $\Delta_r H^\circ_{298}$  и  $\Delta_r S^\circ_{298}$ , используя данные табл. 1 и 2, и  $\Delta_r G^\circ_{298}$  по уравнению Гиббса.

2. Определите, возможен ли процесс получения метилового спирта по уравнению реакции  $4\text{H}_2\text{O}_{(л)} + 2\text{CO}_{2(г)} = 2\text{CH}_3\text{OH}_{(ж)} + \text{O}_{2(г)}$  при стандартных условиях. Ответ мотивируйте, вычислив  $\Delta_r G^\circ_{298}$ , используя уравнение Гиббса. Для расчета  $\Delta_r H^\circ_{298}$  и  $\Delta_r S^\circ_{298}$  используйте термодинамические величины из табл. 1 и 2.

3. Будет ли протекать при стандартных условиях реакция  $2\text{NO}_{(г)} + \text{O}_{2(г)} = 2\text{NO}_{2(г)}$ ? Ответ мотивируйте, вычислив  $\Delta_r G^\circ_{298}$ , используя уравнение Гиббса. Для расчета  $\Delta_r H^\circ_{298}$  и  $\Delta_r S^\circ_{298}$  используйте термодинамические величины из табл. 1 и 2.

4. Определите возможность осуществления при стандартных условиях реакции получения палладиевой черни, которая применяется в качестве катализатора в химических процессах  $\text{PdO}_{(т)} + \text{CO}_{(г)} = \text{Pd}_{(т)} + \text{CO}_{2(г)}$ . Сделайте вывод на основании расчета  $\Delta_r G^\circ_{298}$ , используя уравнение Гиббса. Для расчета  $\Delta_r H^\circ_{298}$  и  $\Delta_r S^\circ_{298}$  используйте термодинамические величины из табл. 1 и 2.

5. Нитрат аммония  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  – ценное азотное удобрение. Рассчитайте, возможен ли процесс получения данного удобрения по уравнению реакции  $\text{N}_2\text{O}_{(г)} + 2\text{H}_2\text{O}_{(л)} = \text{NH}_4\text{NO}_{3(к)}$  при стандартных условиях. Для расчета используйте уравнение Гиббса и термодинамические величины из табл. 1 и 2.

6. Определите по уравнению Гиббса  $\Delta_r G^{\circ}_{298}$  реакции горения аммиака  $4\text{NH}_{3(\text{r})} + 5\text{O}_{2(\text{r})} = 4\text{NO}_{(\text{r})} + 6\text{H}_2\text{O}_{(\text{n})}$ . Вычислите  $\Delta_r H^{\circ}_{298}$  и  $\Delta_r S^{\circ}_{298}$ , используя стандартные энтальпии образования веществ  $\Delta_f H^{\circ}_{298}$  из табл. 1 и абсолютные стандартные энтропии веществ  $S^{\circ}_{298}$  из табл. 2. Возможна ли эта реакция при стандартных условиях?

7. Определите по уравнению Гиббса  $\Delta_r G^{\circ}_{298}$  реакции получения вольфрама:  $\text{WO}_{3(\text{k})} + 3\text{H}_{2(\text{r})} = \text{W}_{(\text{k})} + 3\text{H}_2\text{O}_{(\text{n})}$ . Вычислите  $\Delta_r H^{\circ}_{298}$  и  $\Delta_r S^{\circ}_{298}$ , используя стандартные энтальпии образования веществ  $\Delta_f H^{\circ}_{298}$  из табл. 1 и абсолютные стандартные энтропии веществ  $S^{\circ}_{298}$  из табл. 2. Возможна ли эта реакция при стандартных условиях?

8. Возможна ли реакция  $\text{SiH}_{4(\text{r})} + 2\text{O}_{2(\text{r})} = \text{SiO}_{2(\text{r})} + 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}$  при стандартных условиях? Ответ подтвердите, рассчитав  $\Delta_r H^{\circ}_{298}$  и  $\Delta_r S^{\circ}_{298}$  с использованием данных табл. 1 и 2 и  $\Delta_r G^{\circ}_{298}$  по уравнению Гиббса.

9. Мочевина  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$  используется в сельском хозяйстве в качестве азотного удобрения и как добавка в корм животным. Определите, возможен ли процесс образования мочевины при стандартных условиях по реакции  $2\text{NH}_{3(\text{r})} + \text{CO}_{2(\text{r})} = (\text{NH}_2)_2\text{CO}_{(\text{r})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{n})}$ . Сделайте вывод на основании расчета  $\Delta_r G^{\circ}_{298}$  реакции, используя уравнение Гиббса. Для расчета  $\Delta_r H^{\circ}_{298}$  и  $\Delta_r S^{\circ}_{298}$  используйте термодинамические величины из табл. 1 и 2.

10. Возможен ли процесс получения нитрата аммония  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  по уравнению реакции  $2\text{N}_{2(\text{r})} + 4\text{H}_2\text{O}_{(\text{n})} + \text{O}_{2(\text{r})} = 2\text{NH}_4\text{NO}_{3(\text{r})}$  при стандартных условиях? Для расчета используйте уравнение Гиббса и термодинамические величины из табл. 1 и 2 для расчета  $\Delta_r H^{\circ}_{298}$  и  $\Delta_r S^{\circ}_{298}$ .

11. Одним из перспективных способов получения искусственного топлива является реакция  $\text{CO}_{2(\text{r})} + 4\text{H}_{2(\text{r})} = 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{n})} + \text{CH}_{4(\text{r})}$ ,  $\Delta_r H^{\circ}_{298} = 76,8$  кДж. Возможен ли данный процесс при стандартных условиях? Сделайте вывод на основании расчета  $\Delta_r S^{\circ}_{298}$  с использованием данных термодинамических величин из табл. 2 и  $\Delta_r G^{\circ}_{298}$  по уравнению Гиббса.

12. Одним из металлов, мало подверженных коррозии, является титан. Рассчитайте, возможно ли его получение при стандартных условиях по реакции  $\text{TiO}_{2(\text{k})} + 2\text{C}_{(\text{уголь})} = \text{Ti}_{(\text{k})} + 2\text{CO}_{(\text{r})}$ . Для расчета

используйте уравнение Гиббса и термодинамические величины из табл. 1 и 2 для расчета  $\Delta_r H^\circ_{298}$  и  $\Delta_r S^\circ_{298}$ .

**13.** Определите, возможен ли процесс образования ортофосфата кальция по реакции  $P_2O_{5(к)} + 3Ca(OH)_{2(к)} = Ca_3(PO_4)_{2(к)} + 3H_2O_{(ж)}$  при стандартных условиях. Ответ мотивируйте, вычислив  $\Delta_r G^\circ_{298}$ , используя уравнение Гиббса. Для расчета  $\Delta_r H^\circ_{298}$  и  $\Delta_r S^\circ_{298}$  реакции используйте термодинамические величины из табл. 1 и 2.

**14.** Определите, возможен ли процесс образования ортофосфата кальция по реакции  $3CaO_{(к)} + P_2O_{5(к)} = Ca_3(PO_4)_{2(к)}$  при стандартных условиях. Ответ мотивируйте, вычислив  $\Delta_r G^\circ_{298}$ , используя уравнение Гиббса. Для расчета  $\Delta_r H^\circ_{298}$  и  $\Delta_r S^\circ_{298}$  реакции используйте термодинамические величины из табл. 1 и 2.

**15.** Определите по уравнению Гиббса  $\Delta_r G^\circ_{298}$  реакции горения сероводорода:  $2H_2S_{(г)} + 3O_{2(г)} = 2SO_{2(г)} + 2H_2O_{(л)}$ . Вычислите  $\Delta_r H^\circ_{298}$  и  $\Delta_r S^\circ_{298}$ , используя стандартные энтальпии образования веществ  $\Delta_f H^\circ_{298}$  из табл. 1 и абсолютные стандартные энтропии веществ  $S^\circ_{298}$  из табл. 2. Возможна ли эта реакция при стандартных условиях?

**16.** Возможно ли получение железа при стандартных условиях по реакции  $Fe_2O_{3(к)} + 2Al_{(к)} = 2Fe_{(к)} + Al_2O_{3(к)}$ ? Ответ подтвердите, рассчитав  $\Delta_r H^\circ_{298}$  и  $\Delta_r S^\circ_{298}$ , используя данные табл. 1 и 2, и  $\Delta_r G^\circ_{298}$  по уравнению Гиббса.

**17.** Определите возможность протекания реакции разложения хлората калия  $2KClO_{3(к)} = 2KCl_{(к)} + 3O_{2(г)}$  при стандартных условиях. Сделайте вывод на основании расчета  $\Delta_r G^\circ_{298}$ , используя уравнение Гиббса. Для расчета  $\Delta_r H^\circ_{298}$  и  $\Delta_r S^\circ_{298}$  используйте термодинамические величины из табл. 1 и 2.

**18.** Для реакции синтеза аммиака  $N_{2(г)} + 3H_{2(г)} = 2NH_{3(г)}$  с тепловым эффектом  $\Delta_r H^\circ_{298} = -92,4$  кДж рассчитайте  $\Delta_r S^\circ_{298}$ , используя данные табл. 2, и  $\Delta_r G^\circ_{298}$  по уравнению Гиббса.

**19.** Какой из карбонатов –  $BeCO_{3(к)}$  или  $CaCO_{3(к)}$  – можно получить по реакции взаимодействия соответствующих основных оксидов  $BeO_{(к)}$  и  $CaO_{(к)}$  с диоксидом углерода (IV)  $CO_2$ ? Сделайте вывод, вычислив  $\Delta_r G^\circ_{298}$  обеих реакций, используя термодинамические величины из табл. 3.

**20.** Определите по уравнению Гиббса  $\Delta_r G^\circ_{298}$  реакции разложения метана  $2\text{CH}_{4(\text{г})} = \text{C}_2\text{H}_{2(\text{г})} + 3\text{H}_{2(\text{г})}$ . Вычислите  $\Delta_r H^\circ_{298}$  и  $\Delta_r S^\circ_{298}$ , используя стандартные энтальпии образования веществ  $\Delta_f H^\circ_{298}$  из табл. 1 и абсолютные стандартные энтропии веществ  $S^\circ_{298}$  из табл. 2. Возможна ли эта реакция в стандартных условиях?

**21.** Определите, возможен ли процесс получения никеля по реакции  $\text{NiO}_{(\text{к})} + \text{CO}_{(\text{г})} = \text{Ni}_{(\text{к})} + \text{CO}_{2(\text{г})}$  при стандартных условиях. Ответ мотивируйте, вычислив  $\Delta_r G^\circ_{298}$ , используя уравнение Гиббса. Для расчета  $\Delta_r H^\circ_{298}$  и  $\Delta_r S^\circ_{298}$  используйте термодинамические величины из табл. 1 и 2.

**22.** Определите возможность протекания реакции  $\text{Ni}_{(\text{к})} + 2\text{HCl}_{(\text{г})} = \text{NiCl}_{2(\text{к})} + \text{H}_{2(\text{г})}$  при стандартных условиях. Сделайте вывод на основании расчета  $\Delta_r G^\circ_{298}$ , используя уравнение Гиббса. Для расчета  $\Delta_r H^\circ_{298}$  и  $\Delta_r S^\circ_{298}$  используйте термодинамические величины из табл. 1 и 2.

**23.** Определите, возможен ли процесс брожения глюкозы с образованием этилового спирта по реакции  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_{6(\text{р-р})} = 2\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_{(\text{ж})} + 2\text{CO}_{2(\text{г})}$  при стандартных условиях. Ответ обоснуйте, вычислив  $\Delta_r G^\circ_{298}$ , используя уравнение Гиббса. Для расчета  $\Delta_r H^\circ_{298}$  и  $\Delta_r S^\circ_{298}$  реакции используйте термодинамические величины из табл. 1 и 2.

**24.** Возможна ли реакция  $\text{CO}_{2(\text{г})} + \text{C}_{(\text{уголь})} = 2\text{CO}_{(\text{г})}$  при стандартных условиях? Ответ подтвердите, рассчитав  $\Delta_r H^\circ_{298}$  и  $\Delta_r S^\circ_{298}$ , используя данные табл. 1 и 2, и  $\Delta_r G^\circ_{298}$  по уравнению Гиббса.

**25.** Исходя из значений стандартных энтальпий образования веществ  $\Delta_f H^\circ_{298}$  (табл. 1) и абсолютных стандартных энтропий веществ  $S^\circ_{298}$  (табл. 2), вычислите  $\Delta_r G^\circ_{298}$  реакции получения хлорида аммония  $\text{NH}_{3(\text{г})} + \text{HCl}_{(\text{г})} = \text{NH}_4\text{Cl}_{(\text{к})}$ , используя уравнение Гиббса. Будет ли данная реакция протекать самопроизвольно при стандартных условиях?

**26.** Реакция получения аммиака из нитрида кальция протекает по схеме:  $\text{Ca}_3\text{N}_{2(\text{к})} + 6\text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})} = 3\text{Ca}(\text{OH})_{2(\text{к})} + 2\text{NH}_{3(\text{г})}$ . Определите по уравнению Гиббса  $\Delta_r G^\circ_{298}$ . Вычислите  $\Delta_r H^\circ_{298}$  и  $\Delta_r S^\circ_{298}$ , используя стандартные энтальпии образования веществ  $\Delta_f H^\circ_{298}$  из табл. 1 и абсолютные стандартные энтропии веществ  $S^\circ_{298}$  из табл. 2. Возможна ли эта реакция при стандартных условиях?

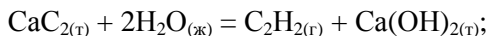
**27.** Чем можно объяснить невозможность осуществления реакции  $\text{H}_{2(\text{r})} + \text{CO}_{2(\text{r})} = \text{CO}_{(\text{r})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}$ ,  $\Delta_r H^\circ_{298} = -2,85$  кДж при стандартных условиях? Ответ подтвердите расчетами  $\Delta_r S^\circ_{298}$ , используя термодинамические величины из табл. 2, и  $\Delta_r G^\circ_{298}$  реакции, используя уравнение Гиббса.

**28.** Наиболее перспективным жидким топливом является метанол (метилловый спирт)  $\text{CH}_3\text{OH}$ . Определите, возможен ли процесс получения метанола по реакции  $\text{CO}_{(\text{r})} + \text{H}_{2(\text{r})} = \text{CH}_3\text{OH}_{(\text{r})}$ ,  $\Delta_r H_{298} = -128,1$  кДж при стандартных условиях. Сделайте вывод на основании расчета  $\Delta_r S^\circ_{298}$  с использованием термодинамических величин из табл. 2 и  $\Delta_r G^\circ_{298}$  по уравнению Гиббса.

**29.** Определите  $\Delta_r H^\circ_{298}$  и  $\Delta_r G^\circ_{298}$  для реакций: а)  $\text{MgCO}_{3(\text{к})} = \text{MgO}_{(\text{к})} + \text{CO}_{2(\text{r})}$ ; б)  $\text{CaCO}_{3(\text{к})} = \text{CaO}_{(\text{к})} + \text{CO}_{2(\text{r})}$ , используйте термодинамические величины из табл. 1 и 3. Сделайте вывод, какой из карбонатов обладает большей термической устойчивостью.

**30.** Ацетилен в смеси с кислородом используют для сварки и резки металлов. Его получают различными способами:

а) действием воды на карбид кальция:



б) крекингом метана:



Рассчитайте  $\Delta_r G^\circ_{298}$  для обеих реакций, используя термодинамические величины из табл. 3, и сделайте вывод о возможности их протекания при стандартных условиях.

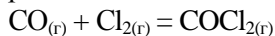
## 7. ХИМИЧЕСКАЯ КИНЕТИКА И РАВНОВЕСИЕ

### Типовые задачи и их решения

1. В системе, в которой протекает реакция  $\text{CO}_{(г)} + \text{Cl}_{2(г)} = \text{COCl}_{2(г)}$ , концентрацию CO увеличили от 0,3 до 1,2 моль/дм<sup>3</sup>, а концентрацию хлора – от 0,2 до 0,6 моль/дм<sup>3</sup>. Определите, во сколько раз возрастет скорость реакции.

**Дано:**

реакция:



$$C_0(\text{CO}) = 0,3 \text{ моль/дм}^3$$

$$C_1(\text{CO}) = 1,2 \text{ моль/дм}^3$$

$$C_0(\text{Cl}_2) = 0,2 \text{ моль/дм}^3$$

$$C_1(\text{Cl}_2) = 0,6 \text{ моль/дм}^3$$

---

$$v_1 / v_0 = ?$$

**Решение**

На основании закона действия масс скорость гомогенной реакции ( $v$ ) выражается через концентрации реагирующих веществ следующим образом:

$$v = k \cdot C(\text{CO}) \cdot C(\text{Cl}_2),$$

где  $C(\text{CO})$ ,  $C(\text{Cl}_2)$  – молярные концентрации оксида углерода (II) и хлора, моль/дм<sup>3</sup>;

$k$  – константа скорости реакции.

Начальная скорость равна

$$v_0 = k \cdot C_0(\text{CO}) \cdot C_0(\text{Cl}_2) = k \cdot 0,3 \cdot 0,2 = 0,06 \cdot k.$$

С увеличением концентраций реагирующих веществ, скорость ( $v_1$ ) возрастет:

$$v_1 = k \cdot C_1(\text{CO}) \cdot C_1(\text{Cl}_2) = k \cdot 1,2 \cdot 0,6 = 0,72 \cdot k.$$

Тогда  $v_1 / v_0 = (0,72 \cdot k) / (0,06 \cdot k) = 12$ .

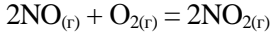
Следовательно, скорость реакции возрастет в 12 раз.

**Ответ:**  $v_1 / v_0 = 12$ .

2. Определите, как изменится скорость реакции  $2\text{NO}_{(г)} + \text{O}_{2(г)} = 2\text{NO}_{2(г)}$ , если: а) повысить давление в системе в 3 раза; б) увеличить концентрацию NO в 3 раза?

**Дано:**

реакция:



а)  $p_1 = 3p_0$

б)  $C_1(\text{NO}) = 3C_0(\text{NO})$

а)  $v_1 / v_0 = ?$

б)  $v_1 / v_0 = ?$

**Решение**

На основании закона действия масс скорость реакции до изменения давления и концентрации выражается уравнением

$$v_0 = k \cdot (C_0)^2(\text{NO}) \cdot C_0(\text{O}_2);$$

а) вследствие повышения давления в 3 раза концентрация каждого из реагирующих веществ увеличилась в 3 раза. Скорость реакции изменилась и составила

$$v_1 = k \cdot (3C_0)^2(\text{NO}) \cdot 3C_0(\text{O}_2) = 27k \cdot (C_0)^2(\text{NO}) \cdot C_0(\text{O}_2).$$

Тогда 
$$\frac{v_1}{v_0} = \frac{27k \cdot (C_0)^2(\text{NO}) \cdot C_0(\text{O}_2)}{k \cdot (C_0)^2(\text{NO}) \cdot C_0(\text{O}_2)} = 27,$$

следовательно, скорость реакции возросла в 27 раз;

б) после увеличения концентрации NO в 3 раза скорость составит:

$$v_1 = k \cdot (3C_0)^2(\text{NO}) \cdot C_0(\text{O}_2) = 9k \cdot (C_0)^2(\text{NO}) \cdot C_0(\text{O}_2).$$

Сравнив выражения для  $v_0$  и  $v_1$ , находим:

$$\frac{v_1}{v_0} = \frac{9k \cdot (C_0)^2(\text{NO}) \cdot C_0(\text{O}_2)}{k \cdot (C_0)^2(\text{NO}) \cdot C_0(\text{O}_2)} = 9,$$

т. е. скорость реакции возросла в 9 раз.

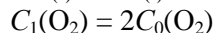
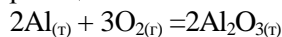
**Ответ:** а)  $v_1 / v_0 = 27$ ; б)  $v_1 / v_0 = 9$ .

3. Определите, как изменится скорость реакции  $2\text{Al}_{(т)} + 3\text{O}_{2(г)} = 2\text{Al}_2\text{O}_{3(г)}$ , если увеличить концентрацию  $\text{O}_2$  в 2 раза?



**Дано:**

реакция:



$v_1 / v_0 = ?$

**Решение**

Данная реакция гетерогенная.

На основании закона действия масс скорость реакции до изменения концентрации выражается уравнением:

$$v_0 = k \cdot (C_0)^3(\text{O}_2).$$

В выражение скорости гетерогенной реакции входят только фазы переменного состава ( $\text{O}_2$ ), значения концентрации фаз постоянного состава ( $\text{Al}$ ) принимаются равными единице.

Вследствие повышения концентрации кислорода в 2 раза скорость реакции изменилась:

$$v_1 = k \cdot (2C_0)^3(\text{O}_2) = 8k \cdot (C_0)^3(\text{O}_2).$$

Тогда

$$\frac{v_1}{v_0} = \frac{8k \cdot (C_0)^3(\text{O}_2)}{k \cdot (C_0)^3(\text{O}_2)} = 8,$$

следовательно, скорость реакции возросла в 8 раз.

**Ответ:**  $v_1 / v_0 = 8$ .

**4.** Скорость химической реакции при  $40^\circ\text{C}$  равна  $1 \text{ моль}/(\text{дм}^3 \cdot \text{с})$ . Вычислите скорость этой реакции при  $70^\circ\text{C}$ , если температурный коэффициент скорости реакции равен 4.

**Дано:**

$$v_{t_1} = 1 \text{ моль}/(\text{дм}^3 \cdot \text{с})$$

$$t_1 = 40^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 70^\circ\text{C}$$

$$\gamma = 4$$

$v_{t_2} = ?$

**Решение**

Согласно правилу Вант-Гоффа:

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

$$\text{Откуда } v_{t_2} = v_{t_1} \cdot \gamma^{\frac{t_2 - t_1}{10}}.$$

Подставляем значения:

$$v_{t_2} = 1 \cdot 4^{\frac{70 - 40}{10}} = 4^3 = 64 \text{ моль}/(\text{дм}^3 \cdot \text{с}).$$

**Ответ:**  $v_{t_2} = 64 \text{ моль}/(\text{дм}^3 \cdot \text{с})$ .

4. Определите, во сколько раз увеличится скорость химической реакции, если температуру повысить на 30 °С. Температурный коэффициент скорости реакции ( $\gamma$ ) равен 3.

**Дано:**

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 30 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\gamma = 3$$

$$v_{t_2} / v_{t_1} = ?$$

**Решение**

Согласно правилу Вант-Гоффа:

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

Подставляем значения:

$$\frac{v_{t_2}}{v_{t_1}} = 3^{\frac{30}{10}} = 3^3 = 27,$$

т. е. скорость реакции увеличится в 27 раз.

**Ответ:**  $v_{t_2} / v_{t_1} = 27$ .

5. Определите, чему равен температурный коэффициент скорости реакции, если при увеличении температуры на 40 °С скорость реакции возрастает в 16 раз?

**Дано:**

$$v_{t_2} / v_{t_1} = 16$$

$$\Delta t = 40 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\gamma = ?$$

**Решение**

Согласно правилу Вант-Гоффа:

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

Подставляем значения:

$$16 = \gamma^{\frac{\Delta t}{10}} = \gamma^{\frac{40}{10}} = \gamma^4.$$

Отсюда  $\gamma = \sqrt[4]{16} = 2$ .

**Ответ:**  $\gamma = 2$ .

6. При 130 °С реакция заканчивается за 24 мин. Принимая температурный коэффициент скорости реакции равный 2, рассчитайте, за какое время закончится эта реакция, если проводить ее при:  
а) 150 °С; б) 80 °С.

**Дано:**

$$t_1 = 130 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\tau_{t_1} = 24 \text{ мин}$$

$$\text{а) } t_2 = 150 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{б) } t_2 = 80 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\gamma = 2$$

$$\text{а) } \tau_{t_2} = ?$$

$$\text{б) } \tau_{t_2} = ?$$

**Решение**

Между скоростью реакции и временем ее протекания существует обратно пропорциональная зависимость:

$$v = \frac{\Delta C}{\Delta t}$$

Следовательно, правило Вант-Гоффа можно записать как

$$\tau_{t_1} / \tau_{t_2} = \gamma^{\frac{t_2 - t_1}{10}},$$

где  $\tau_{t_1}$  – время реакции при температуре  $t_1$ ;

$\tau_{t_2}$  – время реакции при температуре  $t_2$ .

а) подставим значения:

$$\frac{24}{\tau_{t_2}} = 2^{\frac{150-130}{10}} = 2^2;$$

$$\tau_{t_2} = \frac{24}{4} = 6 \text{ мин,}$$

т. е. при температуре 150 °С реакция закончится за 6 мин;

б) подставим значения:

$$\frac{24}{\tau_{t_2}} = 2^{\frac{80-130}{10}} = 2^{-5};$$

$$\tau_{t_2} = \frac{24}{2^{-5}} = \frac{24 \cdot 32}{1} = 768 \text{ мин} = 12 \text{ ч } 48 \text{ мин},$$

т. е. при температуре 80 °С реакция закончится за 12 ч 48 мин.

**Ответ:** а) 6 мин; б) 12 ч 48 мин.

7. Равновесие реакции  $2\text{NO}_{2(\text{r})} \rightleftharpoons 2\text{NO}_{(\text{r})} + \text{O}_{2(\text{r})}$  при нагревании оксида азота (IV) устанавливается при равновесных концентрациях веществ (моль/дм<sup>3</sup>):  $[\text{NO}_2] = 0,3$ ;  $[\text{NO}] = 1,2$ ;  $[\text{O}_2] = 0,6$ . Вычислите константу равновесия реакции и исходную концентрацию  $\text{NO}_2$ .

**Дано:**

$$\begin{aligned} [\text{NO}_2] &= 0,3 \text{ моль/дм}^3 \\ [\text{NO}] &= 1,2 \text{ моль/дм}^3 \\ [\text{O}_2] &= 0,6 \text{ моль/дм}^3 \end{aligned}$$

а)  $K_C$  – ?

б)  $C_0(\text{NO}_2)$  – ?

**Решение**

Константа равновесия данной реакции рассчитывается исходя из равновесных концентраций исходных и конечных веществ, согласно выражению

$$K_C = \frac{[\text{NO}]^2 \cdot [\text{O}_2]}{[\text{NO}_2]^2} = \frac{1,2^2 \cdot 0,6}{0,3^2} = 9,6.$$

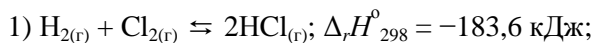
Если к моменту установления равновесия в системе концентрация  $\text{NO}$  составила 1,2 моль/дм<sup>3</sup>, то концентрация  $\text{NO}_2$  к этому моменту уменьшилась на  $\Delta C(\text{NO}_2) = 1,2$  моль/дм<sup>3</sup> (согласно стехиометрии реакции 2 моль  $\text{NO}_2$  образует 2 моль  $\text{NO}$ ).

Тогда исходная концентрация  $C_0(\text{NO}_2)$  составит

$$C_0(\text{NO}_2) = [\text{NO}_2] + \Delta C(\text{NO}_2) = 0,3 + 1,2 = 1,5 \text{ моль/дм}^3.$$

**Ответ:** а)  $K_C = 9,6$ ; б)  $C_0(\text{NO}_2) = 1,5$  моль/дм<sup>3</sup>.

7. Определите, в какую сторону сместится равновесие, если обратимая реакция описывается следующим термохимическим уравнением:



при: а) понижении температуры; б) повышении давления. Выразите константу равновесия данных реакций.

**Решение:** 1) реакция  $\text{H}_{2(\text{r})} + \text{Cl}_{2(\text{r})} \rightleftharpoons 2\text{HCl}_{(\text{r})}$ ;  $\Delta_r H^\circ_{298} = -183,6$  кДж является обратимой гомогенной экзотермической ( $\Delta_r H^\circ < 0$ ) реакцией. Выражение константы равновесия реакции имеет вид:

$$K_c = \frac{[\text{HCl}]^2}{[\text{H}_2] \cdot [\text{Cl}_2]}.$$

Для определения направления смещения химического равновесия необходимо воспользоваться принципом Ле Шателье, согласно которому понижение температуры приводит к смещению химического равновесия в сторону экзотермического процесса, а повышение давления смещает равновесие в сторону образования меньшего количества молей газообразных веществ (уменьшению объема газа):

а) данная реакция является экзотермической, поэтому при понижении температуры произойдет сдвиг равновесия в сторону прямой реакции – образования хлороводорода;

б) при повышении давления смещение равновесия не происходит, поскольку реакция не сопровождается изменением объемов газов ( $2$  объема газа  $\rightleftharpoons 2$  объема газа);

2) реакция  $\text{CaCO}_{3(\text{к})} \rightleftharpoons \text{CaO}_{(\text{к})} + \text{CO}_{2(\text{r})}$ ;  $\Delta_r H^\circ_{298} = 179$  кДж является обратимой гетерогенной эндотермической ( $\Delta_r H^\circ > 0$ ) реакцией. В выражение константы реакции входят только фазы переменного состава ( $\text{CO}_2$ ), концентрации фаз постоянного состава (кристаллических  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{CaO}$ ) принимаются равной единице. Константа равновесия принимает вид:

$$K_c = [\text{CO}_2].$$

Применив принцип Ле Шателье для определения направления смещения равновесия, получаем:

а) реакция является эндотермической, поэтому при понижении температуры сдвиг равновесия произойдет в сторону обратной реакции – образования карбоната кальция;

б) при повышении давления смещение равновесия также произойдет в обратном направлении, в сторону образования меньшего количества молей газообразных веществ (0 объемов газа  $\rightleftharpoons$  1 объем газа).

8. В равновесной системе протекает реакция  $\text{N}_{2(\text{r})} + 3\text{H}_{2(\text{r})} \rightleftharpoons 2\text{NH}_{3(\text{r})}$ . Рассчитайте, как изменятся скорости прямой ( $v_0^{\text{пр}}$ ) и обратной ( $v_0^{\text{обп}}$ ) реакций при увеличении давления в 5 раз. В сторону какой реакции сместится равновесие? Выразите константу равновесия данной реакции.

**Решение.** Реакция  $\text{N}_{2(\text{r})} + 3\text{H}_{2(\text{r})} \rightleftharpoons 2\text{NH}_{3(\text{r})}$  является обратимой гомогенной реакцией.

До изменения давления в равновесной системе скорость прямой реакции в соответствии с законом действия масс выражается уравнением

$$v_0^{\text{пр}} = k_1 \cdot [\text{N}_2] \cdot [\text{H}_2]^3,$$

а скорость обратной реакции уравнением

$$v_0^{\text{обп}} = k_2 \cdot [\text{NH}_3]^2.$$

С увеличением давления в 5 раз скорости изменятся и составят:

$$v_1^{\text{пр}} = k_1 \cdot [5\text{N}_2] \cdot [5\text{H}_2]^3 = 625 \cdot k_1 \cdot [\text{N}_2] \cdot [\text{H}_2]^3;$$

$$v_1^{\text{обп}} = k_2 \cdot [5\text{NH}_3]^2 = 25 \cdot k_2 \cdot [\text{NH}_3]^2.$$

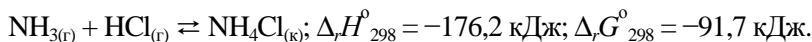
Сравнивая скорости прямой и обратной реакций после увеличения давления (625/25), делаем вывод, что скорость прямой реакции по отношению к скорости обратной реакции увеличилась в 25 раз.

Следовательно, с увеличением давления равновесие в системе сместится в сторону прямой реакции.

Константа равновесия для данной реакции имеет вид:

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

9. Процесс образования хлорида аммония обратим:



Выразите и рассчитайте константу равновесия ( $K_C$ ) этой обратимой реакции. Определите, как повлияет на смещение равновесия в этой системе: а) увеличение давления; б) уменьшение температуры.

**Решение.** Выражение константы равновесия для данной обратимой реакции имеет вид:

$$K_C = \frac{1}{[\text{NH}_3] \cdot [\text{HCl}]},$$

где  $[\text{NH}_4\text{Cl}] = 1$ , т. к. хлорид аммония является кристаллическим веществом.

Уравнение связи константы равновесия и изменения энергии Гиббса:

$$\Delta_r G^\circ_{298} = -5,71 \lg K_C.$$

Подставляем значения и определяем  $K_C$ :

$$-91,7 = -5,71 \lg K_C.$$

Получаем:  $\lg K_C = -91,7 / -5,71 \approx 16$ . Откуда  $K_C = 10^{16}$ .

Большое значение константы равновесия показывает, что при стандартных условиях равновесие реакции смещено вправо:

а) при увеличении давления равновесие будет смещаться вправо, т. к. прямая реакция протекает с уменьшением количества молей газообразных веществ (2 объема газа  $\rightleftharpoons$  0 объемов газа);

б) при уменьшении температуры равновесие также будет смещаться вправо, т. к. прямая реакция – экзотермическая ( $\Delta_r H^\circ_{298} = -176,2 \text{ кДж}$ ).

## Задачи I уровня

1. Скорость химической реакции при 40 °С равна 0,2 моль/(дм<sup>3</sup>·с). Рассчитайте скорость при 100 °С, если температурный коэффициент скорости реакции равен 2.

2. Реакция при 50 °С заканчивается за 2 мин 15 с. Определите, за сколько секунд закончится эта реакция при 70 °С, если температурный коэффициент скорости реакции равен 3.

3. Во сколько раз уменьшится скорость химической реакции, если температуру понизить от 140 °С до 110 °С? Температурный коэффициент скорости реакции равен 3.

4. Температурный коэффициент скорости химической реакции равен 2. При 0 °С скорость данной реакции равна 0,04 моль/(дм<sup>3</sup>·с). Определите скорость этой реакции при 20 °С.

5. На сколько градусов следует изменить температуру, чтобы скорость реакции возросла в 81 раз? Температурный коэффициент скорости реакции равен 3.

6. При 40 °С химическая реакция протекает за 4 мин. Определите время, необходимое для протекания этой реакции при 80 °С. Температурный коэффициент скорости реакции равен 2.

7. Напишите выражение скорости химической реакции согласно закону действия масс:  $\text{PbO}_{2(\text{т})} + 2\text{H}_{2(\text{г})} = \text{Pb}_{(\text{т})} + 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}$ . Как изменится скорость реакции, если увеличить концентрацию водорода в 4 раза?

8. Напишите выражение скорости химической реакции согласно закону действия масс:  $\text{CO}_{(\text{г})} + 2\text{H}_{2(\text{г})} = \text{CH}_3\text{OH}_{(\text{ж})}$ . Рассчитайте, как изменится скорость реакции, если увеличить давление в системе в 2 раза.

9. Напишите выражение скорости реакции, протекающей по уравнению  $2\text{H}_2\text{S}_{(\text{г})} + \text{O}_{2(\text{г})} = \text{H}_2\text{O}_{(\text{н})} + \text{S}_{(\text{т})}$  согласно закону действия масс. Рассчитайте, как изменится скорость реакции, если повысить давление в системе в 2 раза.

10. Как изменится скорость реакции  $2\text{Fe}_{(\text{т})} + 3\text{Cl}_{2(\text{г})} = 2\text{FeCl}_{3(\text{т})}$ , если концентрации исходных веществ увеличить в 3 раза?

11. Для обратимой реакции  $2\text{SO}_{2(\text{г})} + \text{O}_{2(\text{г})} \rightleftharpoons 2\text{SO}_{3(\text{г})}$ ;  $\Delta_r H_{298} = -284,2$  кДж выразите константу равновесия ( $K_C$ ). Определите, как повлияет на смещение равновесия увеличение температуры.



12. Для обратимой реакции  $2\text{NO}_{(г)} + \text{O}_{2(г)} \rightleftharpoons 2\text{NO}_{2(г)}$  выразите константу равновесия ( $K_C$ ). Определите, как повлияет на смещение равновесия увеличение давления.

13. Для обратимой реакции  $\text{Fe}_2\text{O}_{3(г)} + 3\text{H}_{2(г)} \rightleftharpoons 2\text{Fe}_{(г)} + 3\text{H}_2\text{O}_{(н)}$ , протекающей при нагревании, выразите константу равновесия ( $K_C$ ). Определите, как повлияет на смещение равновесия увеличение давления.

14. Для обратимой реакции  $\text{C}_{(г)} + 2\text{H}_{2(г)} \rightleftharpoons \text{CH}_{4(г)}$  выразите константу равновесия ( $K_C$ ). Определите, как повлияет на смещение равновесия увеличение давления.

15. Как повлияет уменьшение давления на смещение равновесия для реакции  $\text{SO}_{2(г)} + \text{Cl}_{2(г)} \rightleftharpoons \text{SO}_2\text{Cl}_{2(г)}$ ? Выразите константу равновесия ( $K_C$ ) для данной обратимой реакции.

## Задачи II уровня

1. В системе протекает обратимая реакция  $\text{CO}_{(г)} + \text{Cl}_{2(г)} \rightleftharpoons \text{COCl}_{2(г)}$  и установилось равновесие при концентрациях (моль/дм<sup>3</sup>):  $[\text{Cl}_2] = 0,3$ ;  $[\text{CO}] = 0,2$ ;  $[\text{COCl}_2] = 1,2$ . Рассчитайте константу равновесия ( $K_C$ ) реакции и исходные концентрации хлора и оксида углерода (II). Как повлияет на смещение равновесия в системе увеличение давления?

2. Для реакции  $\text{H}_{2(г)} + \text{I}_{2(н)} \rightleftharpoons 2\text{HI}_{(г)}$  исходные концентрации водорода и йода составляли:  $C_0(\text{H}_2) = C_0(\text{I}_2) = 1$  моль/дм<sup>3</sup>. Вычислите равновесные концентрации веществ и константу равновесия реакции ( $K_C$ ), если к моменту равновесия прореагировало по 50 % исходных веществ. Повлияет ли изменение давления на смещение равновесия в системе?

3. Реакция образования оксида азота (IV) протекает по уравнению  $2\text{NO}_{(г)} + \text{O}_{2(г)} \rightleftharpoons 2\text{NO}_{2(г)}$ ;  $\Delta_r H^\circ_{298} = -112,9$  кДж. Выразите и рассчитайте константу равновесия ( $K_C$ ) реакции, используя  $\Delta_r G^\circ_{298} = -70,2$  кДж. Определите, как повлияет: а) уменьшение давления; б) увеличение температуры на смещение равновесия в этой системе.

4. Реакция образования аммиака протекает по уравнению  $\text{N}_{2(г)} + 3\text{H}_{2(г)} \rightleftharpoons 2\text{NH}_{3(г)}$ ;  $\Delta_r H^\circ_{298} = -92,4$  кДж. Выразите и рассчитайте

константу равновесия ( $K_C$ ) реакции, используя  $\Delta_r G^\circ_{298} = -32,4$  кДж. Определите, как повлияет: а) увеличение давления; б) уменьшение температуры на смещение равновесия в этой системе.

5. Равновесие в системе  $2\text{SO}_{2(\text{r})} + \text{O}_{2(\text{r})} \rightleftharpoons 2\text{SO}_{3(\text{r})}$  наступило при следующих концентрациях веществ (моль/дм<sup>3</sup>):  $[\text{SO}_2] = 0,04$ ;  $[\text{O}_2] = 0,02$ ;  $[\text{SO}_3] = 0,06$ . Вычислите константу равновесия ( $K_C$ ) и исходные концентрации оксида серы (IV) и кислорода ( $C_0(\text{SO}_2)$  и  $C_0(\text{O}_2)$ ).

6. Исходные концентрации оксида азота (II) и хлора в равновесной системе  $2\text{NO}_{(\text{r})} + \text{Cl}_{2(\text{r})} \rightleftharpoons 2\text{NOCl}_{(\text{r})}$  составили 0,5 и 0,2 моль/дм<sup>3</sup> соответственно. Вычислите константу равновесия ( $K_C$ ), если к моменту наступления равновесия прореагировало 20 % оксида азота (II).

7. Реакция получения ацетилена из метана протекает по уравнению  $2\text{CH}_{4(\text{r})} \rightleftharpoons \text{C}_2\text{H}_{2(\text{r})} + 3\text{H}_{2(\text{r})}$ ;  $\Delta_r G^\circ_{298} = 108,2$  кДж. Выразите и рассчитайте константу равновесия ( $K_C$ ) реакции, используя термодинамическую величину  $\Delta_r G^\circ_{298}$ . Определите, как повлияет уменьшение давления на смещение равновесия в этой системе.

### Контрольные задачи по разделу «Зависимость скорости химической реакции от температуры»

1. Температурный коэффициент скорости реакции равен 2. При 20 °С скорость реакции составляет 0,04 моль/(дм<sup>3</sup>·с). Определите скорость этой реакции при: а) 40 °С; б) 0 °С.

2. При 30 °С скорость химической реакции равна 0,01 моль/(дм<sup>3</sup>·с). Определите скорость при: а) 0 °С; б) 60 °С, если температурный коэффициент скорости реакции равен 3.

3. При 40 °С скорость химической реакции составляет 0,2 моль/(дм<sup>3</sup>·с). Определите скорость при: а) 10 °С; б) 100 °С, если температурный коэффициент скорости реакции равен 2.

4. Температурный коэффициент скорости реакции равен 3. При 50 °С скорость реакции составляет 0,05 моль/(дм<sup>3</sup>·с). Определите скорость этой реакции при: а) 20 °С; б) 70 °С.

5. Во сколько раз возрастет скорость химической реакции при повышении температуры от 10 °С до 60 °С, если температурный коэффициент скорости реакции равен 3?

6. Температурный коэффициент скорости реакции равен 3. Во сколько раз возрастет скорость этой реакции при увеличении температуры на 30 °С?

7. Реакция при 50 °С заканчивается за 90 с. Определите время, необходимое для окончания этой реакции при 70 °С, если температурный коэффициент скорости реакции равен 3.

8. При 20 °С реакция протекает за 2 мин. Определите время, необходимое для протекания этой реакции при: а) 0 °С; б) 50 °С. Температурный коэффициент скорости реакции равен 2.

9. На сколько градусов следует увеличить температуру, чтобы скорость реакции возросла в 27 раз? Температурный коэффициент скорости реакции равен 3.

10. При 30 °С реакция заканчивается за 25 мин, при 50 °С – за 4 мин. Рассчитайте температурный коэффициент скорости реакции.

11. Скорость реакции при 0 °С равна 1 моль/(дм<sup>3</sup>·с). Вычислите скорость этой реакции при 30 °С, если температурный коэффициент скорости реакции равен 3.

12. Температурный коэффициент скорости реакции равен 2. Во сколько раз возрастет скорость этой реакции при увеличении температуры на: а) 30 °С; б) 50 °С?

13. Во сколько раз уменьшится скорость химической реакции при понижении температуры на: а) 20 °С; б) 40 °С? Температурный коэффициент скорости реакции равен 3.

14. На сколько градусов следует повысить температуру, чтобы скорость химической реакции возросла в 16 раз? Температурный коэффициент скорости реакции равен 2.

15. При повышении температуры на 60 °С скорость химической реакции возросла в 64 раза. Вычислите температурный коэффициент скорости реакции.

16. Скорость химической реакции возросла в 81 раз. Температурный коэффициент скорости реакции равен 3. На сколько градусов была повышена температура?

17. При 10 °С реакция заканчивается за 120 с, а при 20 °С – за 60 с. Чему равен температурный коэффициент скорости реакции?

18. Реакция при 20 °С протекает за 90 с. Определите время, необходимое для завершения этой реакции при 40 °С, если температурный коэффициент скорости реакции равен 3.

**19.** Скорость химической реакции при  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  равна  $1\text{ моль}/(\text{дм}^3\cdot\text{с})$ . Вычислите скорость этой реакции при  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ , если температурный коэффициент скорости реакции равен 4.

**20.** При увеличении температуры на  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  скорость химической реакции возросла в 1024 раз. Вычислите температурный коэффициент скорости реакции.

**21.** Во сколько раз уменьшится скорость химической реакции, если температуру газовой смеси понизить со  $140\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ? Температурный коэффициент скорости реакции равен 3.

**22.** На сколько градусов следует повысить температуру системы, чтобы скорость протекающей в ней реакции возросла в 64 раза? Температурный коэффициент скорости реакции равен 4.

**23.** При  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  реакция заканчивается за 4 мин, а при  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  – за 16 мин. Вычислите температурный коэффициент скорости реакции. Определите время, необходимое для окончания реакции при  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**24.** При повышении температуры на  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  скорость реакции возросла в 9 раз. Вычислите температурный коэффициент скорости реакции.

**25.** Температурный коэффициент скорости реакции равен 4. При  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  скорость реакции составляет  $0,02\text{ моль}/(\text{дм}^3\cdot\text{с})$ . Какова скорость этой реакции при: а)  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; б)  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ?

**26.** Как изменится скорость химической реакции при понижении температуры от  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , если температурный коэффициент скорости реакции равен 3?

**27.** Реакция при  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  заканчивается за 1 мин 30 с. Определите время, необходимое для окончания данной реакции при  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ , если температурный коэффициент скорости реакции равен 3.

**28.** Во сколько раз уменьшится скорость химической реакции, если температуру газовой смеси понизить от  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ? Температурный коэффициент скорости реакции равен 2.

**29.** На сколько градусов следует понизить температуру, чтобы скорость химической реакции уменьшилась в 27 раз? Температурный коэффициент скорости реакции равен 3.

**30.** При  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  реакция заканчивается за 4 мин. Температурный коэффициент скорости реакции равен 2. Определите время, необходимое для окончания этой реакции при  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**Контрольные задачи по разделу  
«Зависимость скорости химической реакции  
от концентрации реагирующих веществ»**

1. Свинец можно восстановить из оксида свинца (IV) с помощью водорода:  $\text{PbO}_{2(\text{r})} + 2\text{H}_{2(\text{r})} = \text{Pb}_{(\text{т})} + 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{л})}$ . Напишите выражение скорости данной реакции согласно закону действия масс. Как изменится скорость этой реакции, если увеличить концентрацию водорода в 4 раза?

2. Метиловый спирт получают по реакции  $\text{CO}_{(\text{r})} + 2\text{H}_{2(\text{r})} = \text{CH}_3\text{OH}_{(\text{ж})}$ . Напишите выражение скорости этой реакции согласно закону действия масс и рассчитайте, как изменится скорость реакции, если увеличить давление в системе в 2 раза.

3. Взаимодействие оксида азота (II) с кислородом описывается уравнением  $2\text{NO}_{(\text{r})} + \text{O}_{2(\text{r})} = 2\text{NO}_{2(\text{r})}$ . Рассчитайте, используя закон действия масс, как изменится скорость этой реакции, если увеличить концентрацию NO в 3 раза.

4. Напишите выражение скорости для химической реакции  $\text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{т})} + 3\text{CO}_{(\text{r})} = 2\text{Fe}_{(\text{т})} + 3\text{CO}_{2(\text{r})}$  согласно закону действия масс. Как изменится скорость реакции, если давление в системе увеличить в 2 раза?

5. Выразите скорость реакции горения серы в кислороде, протекающей по уравнению  $\text{S}_{(\text{т})} + \text{O}_{2(\text{r})} = \text{SO}_{2(\text{r})}$ , через концентрации реагирующих веществ согласно закону действия масс. Рассчитайте, как изменится скорость этой реакции при увеличении концентрации исходных веществ в 4 раза.

6. При окислении аммиака кислородом при определенных условиях образуются азотная кислота и вода по уравнению реакции:  $\text{NH}_{3(\text{r})} + 2\text{O}_{2(\text{r})} = \text{HNO}_3_{(\text{ж})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}$ . Напишите выражение скорости реакции согласно закону действия масс. Рассчитайте, как изменится скорость реакции, если увеличить давление в системе в 3 раза.

7. Водяной газ (смесь равных объемов CO и H<sub>2</sub>) получают путем пропускания водяных паров через раскаленный уголь:  $\text{C}_{(\text{т})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{л})} = \text{CO}_{(\text{r})} + \text{H}_{2(\text{r})}$ . Напишите выражение скорости данной реакции согласно закону действия масс. Рассчитайте, как изменится скорость реакции при увеличении концентрации исходных веществ в 5 раз.

**8.** Горение водорода сопровождается образованием паробразной воды:  $2\text{H}_{2(\text{r})} + \text{O}_{2(\text{r})} = 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{n})}$ . Напишите выражение скорости данной реакции согласно закону действия масс. Определите, как изменится скорость реакции, если увеличить концентрацию водорода в 3 раза.

**9.** Реакция между оксидом серы (IV) и оксидом азота (IV) протекает по уравнению  $\text{SO}_{2(\text{r})} + \text{NO}_{2(\text{r})} = \text{SO}_{3(\text{r})} + \text{NO}_{(\text{r})}$ . Напишите выражение скорости этой реакции в соответствии с законом действия масс. Рассчитайте, как изменится скорость реакции, если увеличить концентрацию  $\text{SO}_2$  в 3 раза.

**10.** При ограниченном доступе кислорода сера может быть получена по реакции  $2\text{H}_2\text{S}_{(\text{r})} + \text{O}_{2(\text{r})} = 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{n})} + 2\text{S}_{(\text{r})}$ . Напишите выражение скорости этой реакции согласно закону действия масс и рассчитайте, как изменится скорость реакции, если уменьшить концентрации исходных веществ в 3 раза.

**11.** Горение метана в кислороде протекает по уравнению  $\text{CH}_{4(\text{r})} + 2\text{O}_{2(\text{r})} = \text{CO}_{2(\text{r})} + 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{n})}$ . Напишите выражение скорости этой реакции согласно закону действия масс и рассчитайте, как изменится скорость реакции, если увеличить концентрацию  $\text{O}_2$  в 3 раза.

**12.** При температуре выше  $1200^\circ\text{C}$  или под действием электрических разрядов азот соединяется с кислородом с образованием оксида азота (II):  $\text{N}_{2(\text{r})} + \text{O}_{2(\text{r})} = 2\text{NO}_{(\text{r})}$ . Напишите выражение скорости этой реакции согласно закону действия масс и рассчитайте, как изменится скорость реакции, если увеличить концентрации исходных веществ в 3 раза.

**13.** При восстановлении оксида серы (IV) водородом образуются кристаллическая сера и пары воды по уравнению реакции:  $\text{SO}_{2(\text{r})} + 2\text{H}_{2(\text{r})} = 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{n})} + \text{S}_{(\text{r})}$ . Напишите выражение скорости приведенной реакции согласно закону действия масс. Рассчитайте, как изменится скорость реакции, если уменьшить концентрацию  $\text{H}_2$  в 4 раза.

**14.** Конденсация оксида азота (II) при низких температурах протекает по уравнению  $2\text{NO}_{(\text{r})} = \text{N}_2\text{O}_{2(\text{ж})}$ . Рассчитайте, как изменится скорость реакции при увеличении давления  $\text{NO}$  в 4 раза.

**15.** Приведите выражение скорости реакции, протекающей по уравнению  $2\text{NO}_{(\text{r})} + \text{Cl}_{2(\text{r})} = 2\text{NOCl}_{(\text{r})}$ , согласно закону действия масс и рассчитайте, как изменится скорость реакции, если увеличить концентрации исходных веществ в 2 раза.

**16.** Реакция получения метилового спирта из оксида углерода (II) и водорода имеет вид:  $\text{CO}_{(г)} + 2\text{H}_{2(г)} = \text{CH}_3\text{OH}_{(ж)}$ . Во сколько раз следует увеличить концентрацию водорода при неизменной концентрации CO, чтобы скорость реакции возросла в 25 раз?

**17.** Окисление аммиака кислородом в определенных условиях протекает по уравнению  $\text{NH}_{3(г)} + 2\text{O}_{2(г)} = \text{HNO}_{3(ж)} + \text{H}_2\text{O}_{(ж)}$ . Рассчитайте, как изменится скорость реакции, если увеличить давление в системе в 2 раза.

**18.** Во сколько раз следует увеличить концентрацию оксида углерода (II), чтобы скорость реакции  $2\text{CO}_{(г)} = \text{CO}_{2(г)} + \text{C}_{(т)}$ , протекающей при низких температурах, возросла в 4 раза?

**19.** Запишите выражение скорости реакции, протекающей по уравнению  $\text{H}_{2(г)} + \text{Cl}_{2(г)} = 2\text{HCl}_{(г)}$ , согласно закону действия масс. Рассчитайте, как изменится скорость реакции, если концентрации реагирующих веществ уменьшить в 5 раз.

**20.** Как изменится скорость химической реакции, протекающей по уравнению  $2\text{SO}_{2(г)} + \text{O}_{2(г)} = 2\text{SO}_{3(г)}$ , если увеличить концентрацию  $\text{SO}_2$  в 3 раза? Сделайте расчет, используя выражение скорости реакции согласно закону действия масс.

**21.** Во сколько раз необходимо увеличить концентрацию: а)  $\text{H}_2\text{S}$  или б)  $\text{SO}_2$  для реакции  $\text{H}_2\text{S}_{(г)} + \text{SO}_{2(г)} = 2\text{H}_2\text{O}_{(г)} + 3\text{S}_{(т)}$  при неизменной концентрации второго компонента, чтобы в обоих случаях скорость реакции возросла в 9 раз? Сделайте расчет, используя выражение скорости реакции согласно закону действия масс.

**22.** Рассчитайте, как изменится скорость химической реакции  $2\text{Fe}_{(т)} + 3\text{Cl}_{2(г)} = 2\text{FeCl}_{3(г)}$ , если концентрации исходных веществ увеличить в 3 раза? Сделайте расчет, используя выражение скорости реакции согласно закону действия масс.

**23.** Взаимодействие оксида азота (II) и хлора описывается уравнением  $2\text{NO}_{(г)} + \text{Cl}_{2(г)} = 2\text{NOCl}_{(г)}$ . Рассчитайте, во сколько раз следует увеличить концентрацию NO при неизменной концентрации хлора, чтобы скорость реакции возросла в 64 раза.

**24.** При взаимодействии оксида углерода (IV) с раскаленным углем образуется оксид углерода (II):  $\text{CO}_{2(г)} + \text{C}_{(т)} = 2\text{CO}_{(г)}$ . Как изменится скорость этой реакции, если концентрации исходных веществ увеличить в 8 раз? Сделайте расчет, используя выражение скорости реакции согласно закону действия масс.

25. Напишите выражение скорости реакции, протекающей по уравнению  $2\text{Al}_{(г)} + 3\text{Br}_{2(г)} = 2\text{AlBr}_{3(г)}$ , согласно закону действия масс и рассчитайте, как изменится скорость при увеличении концентрации брома в 5 раз.

26. Напишите выражение скорости для химической реакции  $\text{NH}_{3(г)} + \text{HCl}_{(г)} = \text{NH}_4\text{Cl}_{(к)}$  согласно закону действия масс. Как изменится скорость реакции, если давление в системе увеличить в 3 раза?

27. Напишите выражение скорости для химической реакции  $\text{Fe}_3\text{O}_{4(г)} + \text{CO}_{(г)} = 3\text{FeO}_{(г)} + \text{CO}_{2(г)}$  согласно закону действия масс. Как изменится скорость реакции, если давление в системе увеличить в 2 раза?

28. Напишите выражение скорости для химической реакции  $\text{Fe}_2\text{O}_{3(к)} + 3\text{H}_{2(г)} = 2\text{Fe}_{(к)} + 3\text{H}_2\text{O}_{(г)}$  согласно закону действия масс. Как изменится скорость реакции, если концентрации исходных веществ увеличить в 3 раза?

29. Напишите выражение скорости для химической реакции  $\text{N}_{2(г)} + 3\text{H}_{2(г)} = 2\text{NH}_{3(г)}$  согласно закону действия масс. Во сколько раз следует увеличить концентрацию а) азота, б) водорода при неизменной концентрации второго компонента, чтобы скорость данной реакции возросла в 27 раз?

30. Напишите выражение скорости для химической реакции  $\text{SO}_{2(г)} + \text{NO}_{2(г)} = \text{SO}_{3(г)} + \text{NO}_{(г)}$  согласно закону действия масс. Рассчитайте, как изменится скорость реакции, если увеличить концентрации исходных веществ в 2 раза.

**Контрольные задачи по разделу  
«Химическое равновесие  
в гомогенных и гетерогенных реакциях»**

1. При определенных условиях реакция хлороводорода с кислородом обратима и протекает по уравнению  $4\text{HCl}_{(г)} + \text{O}_{2(г)} \rightleftharpoons 2\text{Cl}_{2(г)} + 2\text{H}_2\text{O}_{(г)}$ ;  $\Delta_r H^\circ_{298} = -116,4$  кДж. Выразите константу равновесия ( $K_c$ ) реакции. Укажите, в сторону какой реакции (прямой или обратной) сместится равновесие при: а) увеличении температуры; б) повышении концентрации; в) повышении давления.



2. Выразите константу равновесия ( $K_C$ ) реакции  $\text{PCl}_{5(\text{г})} \rightleftharpoons \text{PCl}_{3(\text{г})} + \text{Cl}_{2(\text{г})}$ ;  $\Delta_r H^\circ_{298} = +183,9$  кДж. Укажите, в сторону какой реакции (прямой или обратной) сместится равновесие при: а) увеличении температуры; б) повышении концентрации; в) повышении давления.

3. Выразите константу равновесия ( $K_C$ ) реакции  $3\text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{к})} + \text{CO}_{(\text{г})} \rightleftharpoons 2\text{Fe}_3\text{O}_{4(\text{к})} + \text{CO}_{2(\text{г})}$ ;  $\Delta_r H^\circ_{298} = -52,2$  кДж. Укажите, в сторону какой реакции (прямой или обратной) сместится равновесие при: а) увеличении температуры; б) повышении концентрации; в) повышении давления.

4. Реакция образования оксида серы (VI) протекает по уравнению  $2\text{SO}_{2(\text{г})} + \text{O}_{2(\text{г})} \rightleftharpoons 2\text{SO}_{3(\text{ж})}$ ;  $\Delta_r H^\circ_{298} = -284,2$  кДж. Выразите константу равновесия ( $K_C$ ) реакции. Укажите, в сторону какой реакции (прямой или обратной) сместится равновесие при: а) увеличении температуры; б) повышении концентрации; в) повышении давления.

5. Выразите константу равновесия ( $K_C$ ) реакции  $\text{CO}_{2(\text{г})} + \text{C}_{(\text{т})} \rightleftharpoons 2\text{CO}_{(\text{г})}$ ;  $\Delta_r H^\circ_{298} = +160,1$  кДж. Укажите, в сторону какой реакции (прямой или обратной) сместится равновесие при: а) увеличении температуры; б) повышении концентрации; в) повышении давления.

6. Выразите константу равновесия ( $K_C$ ) реакции  $\text{BeCO}_{3(\text{т})} \rightleftharpoons \text{BeO}_{(\text{т})} + \text{CO}_{2(\text{г})}$ ;  $\Delta_r H^\circ_{298} > 0$ . Укажите, в сторону какой реакции (прямой или обратной) сместится равновесие при: а) увеличении температуры; б) повышении концентрации; в) повышении давления.

7. Выразите константу равновесия ( $K_C$ ) реакции  $\text{N}_2\text{O}_{4(\text{ж})} \rightleftharpoons 2\text{NO}_{2(\text{г})}$ ;  $\Delta_r H^\circ_{298} = 85,5$  кДж. Укажите, в сторону какой реакции (прямой или обратной) сместится равновесие при: а) увеличении температуры; б) повышении концентрации; в) повышении давления.

8. Выразите константу равновесия ( $K_C$ ) реакции  $2\text{NO}_{(\text{г})} + \text{O}_{2(\text{г})} \rightleftharpoons 2\text{NO}_{2(\text{г})}$ ;  $\Delta_r H^\circ_{298} = -114,4$  кДж. Укажите, в сторону какой реакции (прямой или обратной) сместится равновесие при: а) увеличении температуры; б) повышении концентрации; в) повышении давления.

9. Выразите константу равновесия ( $K_C$ ) реакции  $3\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{к}) + \text{CO}(\text{г}) \rightleftharpoons 2\text{Fe}_3\text{O}_4(\text{к}) + \text{CO}_2(\text{г})$ ;  $\Delta_r H^\circ_{298} = -52,2$  кДж. Укажите, в сторону какой реакции (прямой или обратной) сместится равновесие при: а) увеличении температуры; б) повышении концентрации; в) повышении давления.

10. Выразите константу равновесия ( $K_C$ ) реакции  $4\text{NO}_2(\text{г}) + \text{O}_2(\text{г}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{ж}) \rightleftharpoons 4\text{HNO}_3(\text{р})$ ;  $\Delta_r H^\circ_{298} = -255$  кДж. Укажите, в сторону какой реакции (прямой или обратной) сместится равновесие при: а) увеличении температуры; б) повышении концентрации; в) повышении давления.

11. Выразите константу равновесия ( $K_C$ ) реакции  $\text{NH}_4\text{Cl}(\text{г}) \rightleftharpoons \text{NH}_3(\text{г}) + \text{HCl}(\text{г})$ ;  $\Delta_r H^\circ_{298} > 0$ . Укажите, в сторону какой реакции (прямой или обратной) сместится равновесие при: а) увеличении температуры; б) повышении концентрации; в) повышении давления.

12. Выразите константу равновесия ( $K_C$ ) реакции  $\text{C}(\text{г}) + 2\text{H}_2(\text{г}) \rightleftharpoons \text{CH}_4(\text{г})$ ;  $\Delta_r H^\circ_{298} > 0$ . Укажите, в сторону какой реакции (прямой или обратной) сместится равновесие при: а) увеличении температуры; б) повышении концентрации; в) повышении давления.

13. Выразите константу равновесия ( $K_C$ ) реакции  $\text{NH}_3(\text{г}) + \text{H}_2\text{O}(\text{ж}) \rightleftharpoons \text{NH}_4\text{OH}(\text{ж})$ ;  $\Delta_r H^\circ_{298} < 0$ . Укажите, в сторону какой реакции (прямой или обратной) сместится равновесие при: а) увеличении температуры; б) повышении концентрации; в) повышении давления.

14. Выразите константу равновесия ( $K_C$ ) реакции  $\text{Cl}_2(\text{г}) + \text{H}_2\text{O}(\text{ж}) \rightleftharpoons \text{HCl}(\text{р}) + \text{HClO}(\text{р})$ ;  $\Delta_r H^\circ_{298} < 0$ . Укажите, в сторону какой реакции (прямой или обратной) сместится равновесие при: а) увеличении температуры; б) повышении концентрации; в) повышении давления.

15. Выразите константу равновесия ( $K_C$ ) реакции  $\text{FeO}(\text{к}) + \text{H}_2(\text{г}) \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{к}) + \text{H}_2\text{O}(\text{г})$ ;  $\Delta_r H^\circ_{298} > 0$ . Укажите, в сторону какой реакции (прямой или обратной) сместится равновесие при: а) увеличении температуры; б) повышении концентрации; в) повышении давления.

16. Обратимая реакция получения фосгена протекает по уравнению  $\text{CO}(\text{г}) + \text{Cl}_2(\text{г}) \rightleftharpoons \text{COCl}_2(\text{г})$ . Рассчитайте, как изменятся скорости прямой и обратной реакций при увеличении давления в 5 раз. В сторону какой реакции сместится при этом равновесие? Выразите константу равновесия ( $K_C$ ) реакции.

**17.** Обратимая реакция протекает по уравнению  $2\text{CO}_{(г)} \rightleftharpoons \text{C}_{(г)} + \text{CO}_{2(г)}$ . Напишите выражение скорости прямой реакции согласно закону действия масс. Рассчитайте, во сколько раз следует увеличить концентрацию CO, чтобы скорость прямой реакции возросла в 25 раз. Выразите константу равновесия ( $K_C$ ) этой реакции. Определите, в какую сторону сместится равновесие при увеличении концентрации  $\text{CO}_2$ .

**18.** Вычислите равновесные концентрации водорода  $[\text{H}_2]$ , йода  $[\text{I}_2]$  и константу равновесия ( $K_C$ ) реакции  $\text{H}_{2(г)} + \text{I}_{2(г)} \rightleftharpoons 2\text{HI}_{(г)}$ , если их исходные концентрации составляли  $C_0(\text{H}_2) = C_0(\text{I}_2) = 0,03$  моль/дм<sup>3</sup>, а равновесная концентрация  $[\text{HI}] = 0,04$  моль/дм<sup>3</sup>. Как повлияет увеличение концентрации водорода на смещение равновесия в системе?

**19.** Исходные концентрации оксида азота (II) и хлора, взаимодействующие по уравнению  $2\text{NO}_{(г)} + \text{Cl}_{2(г)} \rightleftharpoons 2\text{NOCl}_{(г)}$ , составляли (моль/дм<sup>3</sup>):  $C_0(\text{NO}) = 0,5$ ;  $C_0(\text{Cl}_2) = 0,2$ . Вычислите константу равновесия ( $K_C$ ), если к моменту его наступления прореагировало 20 % оксида азота (II). Как повлияет увеличение давления на смещение равновесия в системе?

**20.** Реакция  $\text{CO}_{(г)} + \text{Cl}_{2(г)} \rightleftharpoons \text{COCl}_{2(г)}$  протекает в объеме 10 дм<sup>3</sup>. Состав равновесной смеси: 14 г CO; 35,5 г  $\text{Cl}_2$  и 49,5 г  $\text{COCl}_2$ . Вычислите константу равновесия ( $K_C$ ) реакции. Как повлияет увеличение давления на смещение равновесия в системе?

**21.** Оксид азота (III) является неустойчивым соединением и разлагается с образованием оксидов азота (II) и (IV) по уравнению:  $\text{N}_2\text{O}_{3(г)} \rightleftharpoons \text{NO}_{(г)} + \text{NO}_{2(г)}$ ;  $\Delta_r H^\circ < 0$ . Определите, как повлияет: а) увеличение давления в 2 раза; б) уменьшение температуры на смещение равновесия в этой системе. Выразите константу равновесия ( $K_C$ ) реакции.

**22.** Реакция образования азотной кислоты из оксида азота (IV) протекает по уравнению  $4\text{NO}_{2(г)} + \text{O}_{2(г)} + 2\text{H}_2\text{O}_{(ж)} \rightleftharpoons 4\text{HNO}_{3(г)}$ ;  $\Delta_r H^\circ_{298} = -255$  кДж. Как повлияет на смещение равновесия в системе: а) понижение давления; б) повышение температуры; в) увеличение концентрации кислорода? Выразите константу равновесия ( $K_C$ ) реакции.

**23.** Реакция образования аммиака из водорода и азота обратима:  $\text{N}_{2(г)} + 3\text{H}_{2(г)} \rightleftharpoons 2\text{NH}_{3(г)}$ . В момент равновесия концентрации веществ составили (моль/дм<sup>3</sup>):  $[\text{N}_2] = 3$ ;  $[\text{H}_2] = 1$ ;  $[\text{NH}_3] = 2$ . Вычислите константу равновесия ( $K_C$ ) и исходные концентрации азота и водорода. Как повлияет увеличение давления в системе на смещение равновесия?

**24.** Концентрации веществ, участвующих в обратимой реакции  $\text{H}_{2(\text{r})} + \text{I}_{2(\text{n})} \rightleftharpoons 2\text{HI}_{(\text{r})}$ , в момент равновесия составили (моль/дм<sup>3</sup>):  $[\text{H}_2] = 0,3$ ;  $[\text{I}_2] = 0,4$ ;  $[\text{HI}] = 0,2$ . Рассчитайте константу равновесия ( $K_C$ ) и исходные концентрации водорода и йода ( $C_0(\text{H}_2)$  и  $C_0(\text{I}_2)$ ). Как повлияет увеличение концентрации йодоводорода на смещение равновесия в системе?

**26.** Выразите и рассчитайте константу равновесия ( $K_C$ ) реакции  $\text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{r})} + 3\text{CO}_{(\text{r})} \rightleftharpoons 2\text{Fe}_{(\text{r})} + 3\text{CO}_{2(\text{r})}$ ,  $\Delta_r G^\circ_{298} = -31,6$  кДж. Определите, как повлияет увеличение давления на смещение равновесия в этой системе.

**27.** Реакция образования оксида серы (VI) обратима и протекает по схеме:  $2\text{SO}_{2(\text{r})} + \text{O}_{2(\text{r})} \rightleftharpoons 2\text{SO}_{3(\text{r})}$ ;  $\Delta_r H^\circ_{298} = -196,3$  кДж. Выразите и рассчитайте константу равновесия ( $K_C$ ) реакции, используя  $\Delta_r G^\circ_{298} = -142,0$  кДж. Определите, как повлияет: а) увеличение давления; б) уменьшение температуры на смещение равновесия в этой системе.

**28.** Реакция восстановления оксида железа (II) водородом обратима:  $\text{FeO}_{(\text{к})} + \text{H}_{2(\text{r})} \rightleftharpoons \text{Fe}_{(\text{к})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{n})}$ ;  $\Delta_r G^\circ_{298} = 15,7$  кДж. Выразите и рассчитайте константу равновесия ( $K_C$ ) реакции, используя термодинамическую величину  $\Delta_r G^\circ_{298}$ . Определите, как повлияет уменьшение давления на смещение равновесия в этой системе.

**29.** Вычислите равновесные концентрации веществ и константу равновесия ( $K_C$ ) реакции  $\text{CO}_{(\text{r})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{n})} \rightleftharpoons \text{CO}_{2(\text{r})} + \text{H}_{2(\text{r})}$ , если равновесная концентрация  $[\text{CO}_2] = 0,01$  моль/дм<sup>3</sup>, а исходные концентрации оксида углерода (II) и паров воды равны  $0,03$  моль/дм<sup>3</sup>. Повлияет ли изменение давления на смещение равновесия в системе?

**30.** Реакция образования оксида серы (IV) протекает по уравнению  $2\text{SO}_{2(\text{r})} + \text{O}_{2(\text{r})} \rightleftharpoons 2\text{SO}_{3(\text{ж})}$ ,  $\Delta_r H^\circ_{298} = -284,2$  кДж. Как повлияет на смещение равновесия увеличение температуры? Рассчитайте, как изменятся скорости прямой и обратной реакций при увеличении давления в системе в 3 раза. В какую сторону сместится при этом равновесие? Выразите константу равновесия ( $K_C$ ) реакции.

**31.** Реакция протекает по уравнению  $\text{C}_{(\text{r})} + 2\text{H}_{2(\text{r})} \rightleftharpoons \text{CH}_{4(\text{r})}$ . Рассчитайте, как изменятся скорости прямой и обратной реакций при увеличении давления в системе в 4 раза. В сторону какой реакции при этом сместится равновесие? Выразите константу равновесия ( $K_C$ ) реакции.

## 8. РАСТВОРЫ НЕЭЛЕКТРОЛИТОВ И ЭЛЕКТРОЛИТОВ

### Типовые задачи и их решения

1. Определите температуру замерзания и температуру кипения раствора, если в 100 г воды растворено 9 г глюкозы  $C_6H_{12}O_6$ . Криоскопическая постоянная ( $K_T$ ) воды равна 1,86, эбуллиоскопическая постоянная ( $\mathcal{E}_T$ ) воды равна 0,52.

*Дано:*

$$m(C_6H_{12}O_6) = 9 \text{ г}$$

$$m(H_2O) = 100 \text{ г}$$

$$K_T = 1,86$$

$$\mathcal{E}_T = 0,52$$

$$t_3 - ?$$

$$t_k - ?$$

*Решение*

Задачу решаем, используя II закон Рауля для определения изменения температур замерзания и кипения для неэлектролита (т. к.  $C_6H_{12}O_6$  – неэлектролит).

Находим изменение температур замерзания и кипения по формулам

$$\Delta t_3 = \frac{K_T \cdot m(C_6H_{12}O_6) \cdot 1000}{M(C_6H_{12}O_6) \cdot m(H_2O)};$$

$$\Delta t_k = \frac{\mathcal{E}_T \cdot m(C_6H_{12}O_6) \cdot 1000}{M(C_6H_{12}O_6) \cdot m(H_2O)},$$

где  $\Delta t_3$  – понижение температуры замерзания, °С;

$\Delta t_k$  – повышение температуры кипения, °С;

$m(C_6H_{12}O_6)$  – масса глюкозы, г;

$m(H_2O)$  – масса растворителя (воды), г;

$M(C_6H_{12}O_6)$  – молярная масса глюкозы, г/моль.

Рассчитаем  $M(C_6H_{12}O_6) = 6 \cdot 12 + 12 \cdot 1 + 6 \cdot 16 = 180$  г/моль.

Подставляя значения в формулы закона, получаем:

$$\Delta t_3 = \frac{1,86 \cdot 9 \cdot 1000}{180 \cdot 100} = 0,93 \text{ °С};$$

$$\Delta t_k = \frac{0,52 \cdot 9 \cdot 1000}{180 \cdot 100} = 0,26 \text{ °С}.$$

Определяем температуры замерзания и кипения раствора:

$$t_3 = t_{3\text{H}_2\text{O}} - \Delta t_3 = 0 - 0,93 = -0,93 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$t_k = t_{k\text{H}_2\text{O}} + \Delta t_k = 100 + 0,26 = 100,26 \text{ }^\circ\text{C}.$$

**Ответ:**  $t_3 = -0,93 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $t_k = 100,26 \text{ }^\circ\text{C}$ .

2. При растворении 18,4 г сахара  $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$  в 100 г воды температура замерзания воды понизилась на  $1 \text{ }^\circ\text{C}$ . Определите молярную массу сахара. Криоскопическая постоянная ( $K_T$ ) воды равна 1,86.

**Дано:**

$$m(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) = 18,4 \text{ г}$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 100 \text{ г}$$

$$\Delta t_3 = 1 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$K_T = 1,86$$

$$M(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) - ?$$

**Решение**

Находим молярную массу сахара  $M(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11})$ , используя формулу II закона Рауля для неэлектролита (т. к. сахар – неэлектролит):

$$\Delta t_3 = \frac{K_T \cdot m(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) \cdot 1000}{M(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) \cdot m(\text{H}_2\text{O})}.$$

Откуда

$$M(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) = \frac{K_T \cdot m(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) \cdot 1000}{\Delta t_3 \cdot m(\text{H}_2\text{O})};$$

$$M(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) = \frac{1,86 \cdot 18,4 \cdot 1000}{1 \cdot 100} = 342 \text{ г/моль}.$$

**Ответ:**  $M(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) = 342 \text{ г/моль}$ .

3. Вычислите осмотическое давление раствора при  $27 \text{ }^\circ\text{C}$ , содержащего 9,2 г глицерина ( $\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3$ ) в  $500 \text{ см}^3$  раствора.

**Дано:**

$$m(\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3) = 9,2 \text{ г}$$

$$V_{\text{р-ра}} = 500 \text{ см}^3$$

$$t = 27 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$P_{\text{осм}} - ?$$

**Решение**

Осмотическое давление рассчитываем по закону Вант-Гоффа для неэлектролита (т. к. глицерин – неэлектролит):

$$P_{\text{осм}} = C \cdot R \cdot T,$$

где  $P_{\text{осм}}$  – осмотическое давление, кПа;

$C$  – молярная концентрация вещества в растворе, моль/дм<sup>3</sup>;

$R$  – универсальная газовая постоянная, которая равна 8,314 дм<sup>3</sup>·кПа/(моль·К);

$T$  – абсолютная температура, К.

Молярная концентрация вещества в растворе определяется по формуле

$$C = \frac{n_{\text{в-ва}}}{V_{\text{р-ра}}} = \frac{m_{\text{в-ва}}}{M_{\text{в-ва}} \cdot V_{\text{р-ра}}}.$$

Определяем молярную концентрацию глицерина в растворе:

$$C(\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3) = \frac{m(\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3)}{M(\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3) \cdot V_{\text{р-ра}}} = \frac{9,2}{92 \cdot 0,5} = 0,2 \text{ моль/дм}^3,$$

где  $M(\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3) = 3 \cdot 12 + 5 \cdot 1 + 3 \cdot (16 + 1) = 92 \text{ г/моль}$ .

Вычисляем осмотическое давление, подставив полученные данные:  
 $C = 0,2 \text{ моль/дм}^3$ ;  $T = 273 + 27 = 300 \text{ К}$ ;  $R = 8,314 \text{ дм}^3 \cdot \text{кПа}/(\text{моль} \cdot \text{К})$ :

$$P_{\text{осм}} = 0,2 \cdot 8,314 \cdot 300 = 498,84 \text{ кПа}.$$

**Ответ:**  $P_{\text{осм}} = 498,84 \text{ кПа}$ .

**4.** Определите давление насыщенного пара воды над водным раствором этанола с массовой долей  $\omega(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})$ , равной 25 %, при 298 К, если давление насыщенного пара над водой при той же температуре равно 2,16 кПа.

**Дано:**

$$\omega(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 25 \%$$

$$T = 298 \text{ К}$$

$$P^0 = 2,16 \text{ кПа}$$

$$P = ?$$

**Решение**

Применяем I закон Рауля для неэлектролита (т. к. этанол – неэлектролит):

$$\frac{P^0 - P}{P^0} = \chi,$$

где  $\chi$  – молярная доля вещества в растворе.

Определяем молярную долю этанола в растворе:

$$\chi = \frac{n(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})}{n(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) + n(\text{H}_2\text{O})};$$

$$n(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = \frac{m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})}{M(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})} = \frac{25}{46} = 0,54 \text{ моль},$$

где  $M(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 2 \cdot 12 + 5 \cdot 1 + 16 + 1 = 46 \text{ г/моль}$ .

Учтем, что в 25%-м растворе 25 г  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  растворено в 75 г  $\text{H}_2\text{O}$  (100 – 25).

Тогда

$$n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} = \frac{75}{18} = 4,17 \text{ моль},$$

где  $M(\text{H}_2\text{O}) = 2 \cdot 1 + 16 = 18 \text{ г/моль}$ .

Подставляем значения:

$$\chi = \frac{0,54}{0,54 + 4,17} = 0,11;$$

$$P = P^0 - P^0 \cdot \chi = 2,16 - 2,16 \cdot 0,11 = 1,92 \text{ кПа}.$$

**Ответ:**  $P = 1,92 \text{ кПа}$ .



5. Водный раствор хлорида бария, в котором массовая доля  $\omega(\text{BaCl}_2)$  равна 3,2 %, кипит при 100,208 °С. Вычислите кажущуюся степень диссоциации соли в растворе. Эбуллиоскопическая постоянная ( $\mathcal{E}_T$ ) воды равна 0,52.

**Дано:**

$$\omega(\text{BaCl}_2) = 25 \%$$

$$t_{\text{к(р-ра)}} = 100,208 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\mathcal{E}_T = 0,52$$

$$\alpha - ?$$

**Решение**

Согласно II закону Рауля повышение температуры кипения растворов для электролитов ( $\text{BaCl}_2$  – электролит) равно

$$\Delta t_{\text{к}} = i \cdot \mathcal{E}_T \cdot C_m,$$

где  $\Delta t_{\text{к}}$  – повышение температуры кипения раствора электролита;

$i$  – изотонический коэффициент;

$\mathcal{E}_T$  – эбуллиоскопическая постоянная растворителя;

$C_m$  – моляльность вещества в растворе, моль/кг.

Моляльность  $C_m$  определяется по формуле

$$C_m = \frac{n_{\text{в-ва}}}{m_{\text{р-ля}}} = \frac{m_{\text{в-ва}}}{M_{\text{в-ва}} \cdot m_{\text{р-ля}}}.$$

По условию задачи  $\omega(\text{BaCl}_2) = 3,2 \%$ , следовательно, 3,2 г  $\text{BaCl}_2$  растворено в 96,8 г  $\text{H}_2\text{O}$  ( $100 - 3,2$ ).

Подставляем численные значения в формулу моляльности:

$$C_m(\text{BaCl}_2) = \frac{m(\text{BaCl}_2) \cdot 1000}{M(\text{BaCl}_2) \cdot m(\text{H}_2\text{O})}$$

и получаем

$$C_m(\text{BaCl}_2) = \frac{3,2 \cdot 1000}{208 \cdot 96,8} = 0,16 \text{ моль/кг,}$$

где  $M(\text{BaCl}_2) = 137 + 2 \cdot 35,5 = 208$  г/моль.

Находим изменение температуры кипения раствора:

$$\Delta t_{\kappa} = t_{\kappa(\text{p-ра})} - t_{\kappa(\text{H}_2\text{O})} = 100,208 - 100 = 0,208 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Определяем изотонический коэффициент, используя II закон Рауля для электролитов:

$$i = \frac{\Delta t_{\kappa}}{\Theta_m \cdot C_m(\text{BaCl}_2)} = \frac{0,208}{0,52 \cdot 0,16} = 2,5.$$

Вычисляем кажущуюся степень диссоциации по формуле

$$\alpha = \frac{i - 1}{k - 1},$$

где  $k$  – число ионов, на которое диссоциирует одна молекула электролита.

В данном случае  $k = 3$ , т. к.  $\text{BaCl}_2 \rightarrow \text{Ba}^{2+} + 2\text{Cl}^-$  (диссоциирует с образованием трех ионов).

Подставляем значения:

$$\alpha = \frac{2,5 - 1}{3 - 1} = 0,75 \text{ или } 75 \%,$$

т. е.  $\text{BaCl}_2$  является сильным электролитом, т. к.  $\alpha > 30 \%$ .

**Ответ:**  $\alpha = 75 \%$ .

6. Раствор  $\text{KIO}_3$ , в  $500 \text{ см}^3$  которого содержится 5,35 г соли, оказывает при  $17,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$  осмотическое давление, равное 221 кПа. Вычислите изотонический коэффициент и кажущуюся степень диссоциации соли в растворе.

**Дано:**

$$V_{\text{p-ра}}(\text{KIO}_3) = 500 \text{ см}^3$$

$$m(\text{KIO}_3) = 5,35 \text{ г}$$

$$t = 17,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$P_{\text{осм}} = 221 \text{ кПа}$$

$$R = 8,314 \text{ дм}^3 \cdot \text{кПа}/(\text{моль} \cdot \text{К})$$

$$i - ? \quad \alpha - ?$$

**Решение**

Согласно закону Вант-Гоффа, осмотическое давление для растворов электролитов (т. к.  $\text{KIO}_3$  – электролит) равно

$$P_{\text{осм}} = i \cdot C \cdot R \cdot T,$$

где  $i$  – изотонический коэффициент;

$C$  – молярная концентрация вещества в растворе, моль/дм<sup>3</sup>;

$R$  – универсальная газовая постоянная,  $R = 8,314 \text{ дм}^3 \cdot \text{кПа}/(\text{моль} \cdot \text{К})$ ;

$T$  – абсолютная температура, К.

Абсолютная температура рассчитывается по формуле

$$T = t + 273.$$

Для данного случая  $T = 17,5 + 273 = 290,5 \text{ К}$ .

Определяем молярную концентрацию:

$$C = \frac{n_{\text{в-ва}}}{V_{\text{р-ра}}} = \frac{m_{\text{в-ва}}}{M_{\text{в-ва}} \cdot V_{\text{р-ра}}};$$

$$C(\text{KIO}_3) = \frac{n(\text{KIO}_3)}{V_{\text{р-ра}}} = \frac{m(\text{KIO}_3)}{M(\text{KIO}_3) \cdot V_{\text{р-ра}}} = \frac{5,35}{214 \cdot 0,5} = 0,05 \text{ моль/дм}^3,$$

где  $M(\text{KIO}_3) = 39 + 127 + 3 \cdot 16 = 214 \text{ г/моль}$ .

Определяем изотонический коэффициент, используя закон Вант-Гоффа для электролитов:

$$i = \frac{P_{\text{осм}}}{C \cdot R \cdot T} = \frac{221}{0,05 \cdot 8,314 \cdot 290,5} = 1,83.$$

Вычисляем кажущуюся степень диссоциации:

$$\alpha = \frac{i - 1}{k - 1} = \frac{1,83 - 1}{2 - 1} = 0,83, \text{ или } 83 \%,$$

$k = 2$ , т. к.  $\text{KIO}_3 \rightarrow \text{K}^+ + \text{IO}_3^-$  (диссоциирует с образованием 2 ионов).

Поскольку  $\alpha = 83\% > 30\%$ , то  $\text{KIO}_3$  является сильным электролитом.

**Ответ:**  $i = 1,83$ ;  $\alpha = 83 \%$ .

7. Определите при 298 К давление насыщенного пара воды над раствором, содержащим 14,0 г хлорида кальция в 400 см<sup>3</sup> воды, если давление насыщенного пара над водой при той же температуре равно 2,34 кПа. Кажущаяся степень диссоциации хлорида кальция равна 0,85.

**Дано:**

$$T = 298 \text{ К}$$

$$m(\text{CaCl}_2) = 14,0 \text{ г}$$

$$V(\text{H}_2\text{O}) = 400 \text{ см}^3$$

$$P^0 = 2,34 \text{ кПа}$$

$$\alpha = 0,85$$

$$P - ?$$

**Решение**

Согласно I закону Рауля, давление насыщенного пара воды над раствором электролита (т. к.  $\text{CaCl}_2$  – электролит) равно

$$\frac{P^0 - P}{P^0} = i \cdot \chi,$$

где  $P^0$  – давление насыщенного пара над водой, кПа;

$P$  – давление насыщенного пара воды над раствором, кПа;

$\chi$  – мольная доля вещества в растворе;

$i$  – изотонический коэффициент.

Для водного раствора хлорида кальция:

$$\frac{P^0 - P}{P^0} = i \cdot \frac{n(\text{CaCl}_2)}{n(\text{CaCl}_2) + n(\text{H}_2\text{O})},$$

где  $n(\text{CaCl}_2)$  – количество вещества  $\text{CaCl}_2$ , моль;

$n(\text{H}_2\text{O})$  – количество вещества  $\text{H}_2\text{O}$ , моль.

Степень диссоциации определяем по формуле

$$\alpha = \frac{i - 1}{k - 1},$$

Откуда изотонический коэффициент:

$$i = \alpha (k - 1) + 1.$$

Поскольку хлорид кальция диссоциирует с образованием 3 ионов ( $\text{CaCl}_2 \rightarrow \text{Ca}^{2+} + 2\text{Cl}^-$ ), то  $k = 3$ .

Подставляем значения:

$$i = 0,85 \cdot (3 - 1) + 1 = 2,7.$$

Определяем молярную долю по формуле

$$\chi(\text{CaCl}_2) = \frac{n(\text{CaCl}_2)}{n(\text{CaCl}_2) + n(\text{H}_2\text{O})};$$

$$n(\text{CaCl}_2) = \frac{m(\text{CaCl}_2)}{M(\text{CaCl}_2)} = \frac{14}{111} = 0,13 \text{ моль},$$

где  $M(\text{CaCl}_2) = 40 + 35,5 \cdot 2 = 111 \text{ г/моль}$ .

Определяем массу воды:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = V(\text{H}_2\text{O}) \cdot \rho(\text{H}_2\text{O}) = 400 \cdot 1 = 400 \text{ г}, \text{ т. к. } \rho(\text{H}_2\text{O}) = 1 \text{ г/см}^3.$$

$$\text{Тогда } n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} = \frac{400}{18} = 22,2 \text{ моль},$$

где  $M(\text{H}_2\text{O}) = 18 \text{ г/моль}$ .

В итоге молярная доля хлорида кальция в растворе равна

$$\chi(\text{CaCl}_2) = \frac{0,13}{0,13 + 22,2} = 0,006.$$

Подставляем значения и рассчитываем давление насыщенного пара воды над раствором из следующего соотношения:

$$P = P^0 - P^0 \cdot i \cdot \chi = 2,34 - 2,34 \cdot 2,7 \cdot 0,006 = 2,34 - 0,04 = 2,3 \text{ кПа}.$$

**Ответ:**  $P = 2,3 \text{ кПа}$ .

8. Вычислите степень диссоциации и молярную концентрацию ионов водорода хлорноватистой кислоты в растворе с молярной концентрацией  $0,05$  моль/дм<sup>3</sup>.  $K_K(\text{HClO}) = 5,0 \cdot 10^{-8}$  моль/дм<sup>3</sup>.

*Дано:*

$$C(\text{HClO}) = 0,05 \text{ моль/дм}^3$$

$$K_K(\text{HClO}) =$$

$$= 5,0 \cdot 10^{-8} \text{ моль/дм}^3$$

$$\alpha - ?$$

$$C(\text{H}^+) - ?$$

*Решение*

Хлорноватистая кислота  $\text{HClO}$  – слабый электролит. Диссоциирует обратимо:



В соответствии с законом разбавления Оствальда степень диссоциации ( $\alpha$ ) определяется по формуле

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_K}{C}},$$

где  $K_K$  – константа равновесия реакции диссоциации слабой кислоты на катионы водорода и анионы кислотного остатка (константа кислотности);

$C$  – молярная концентрация вещества, моль/дм<sup>3</sup>.

Для  $\text{HClO}$  константа кислотности имеет вид:

$$K_K = \frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{ClO}^-]}{[\text{HClO}]}$$

Подставляем значения в выражение для степени диссоциации:

$$\alpha = \sqrt{\frac{5,0 \cdot 10^{-8}}{5,0 \cdot 10^{-2}}} = 10^{-3}$$

Молярную концентрацию ионов водорода определяем по формуле

$$C(\text{H}^+) = C(\text{HClO}) \cdot \alpha \cdot n(\text{H}^+),$$

где  $n(\text{H}^+)$  – число катионов водорода, образовавшихся при диссоциации одной молекулы кислоты. Для  $\text{HClO}$   $n(\text{H}^+) = 1$ .

$$C(\text{H}^+) = 5 \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-3} \cdot 1 = 5 \cdot 10^{-5} \text{ моль/дм}^3.$$

**Ответ:**  $\alpha = 10^{-3}$ ;  $C(\text{H}^+) = 5 \cdot 10^{-5}$  моль/дм<sup>3</sup>.

9. Вычислите степень диссоциации гидроксида аммония и молярную концентрацию гидроксид-ионов в растворе с молярной концентрацией гидроксида аммония 0,01 моль/дм<sup>3</sup>.  $K_{\text{O}}(\text{NH}_4\text{OH}) = 2,0 \cdot 10^{-5}$  моль/дм<sup>3</sup>.

**Дано:**

$$C(\text{NH}_4\text{OH}) = 0,01 \text{ моль/дм}^3$$

$$K_{\text{O}}(\text{NH}_4\text{OH}) = 2,0 \cdot 10^{-5} \text{ моль/дм}^3$$

$\alpha - ?$

$C(\text{OH}^-) - ?$

**Решение**

Гидроксид аммония  $\text{NH}_4\text{OH}$  – слабый электролит, диссоциация протекает обратимо:



Степень диссоциации определяется по формуле закона разбавления Оствальда:

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_{\text{O}}}{C}},$$

где  $K_{\text{O}}$  – константа равновесия реакции диссоциации слабого основания на катион и гидроксид-анион (константа основности);

$C$  – молярная концентрация вещества, моль/дм<sup>3</sup>.

Для  $\text{NH}_4\text{OH}$  константа основности имеет вид:

$$K_{\text{O}} = \frac{[\text{NH}_4^+] \cdot [\text{OH}^-]}{[\text{NH}_4\text{OH}]}$$

Подставляем значения в выражение для степени диссоциации:

$$\alpha = \sqrt{\frac{2,0 \cdot 10^{-5}}{10^{-2}}} = 4,47 \cdot 10^{-2}.$$

$$C(\text{OH}^-) = C(\text{NH}_4\text{OH}) \cdot \alpha \cdot n(\text{OH}^-) = 10^{-2} \cdot 4,47 \cdot 10^{-2} \cdot 1 = 4,47 \cdot 10^{-4} \text{ моль/дм}^3,$$

где  $n(\text{OH}^-)$  – число гидроксид-ионов, образовавшихся при диссоциации одной молекулы основания. Для  $\text{NH}_4\text{OH}$  число  $n(\text{OH}^-) = 1$ .

**Ответ:**  $\alpha = 4,47 \cdot 10^{-2}$ ;  $C(\text{OH}^-) = 4,47 \cdot 10^{-4}$  моль/дм<sup>3</sup>.

### Задачи I уровня

1. Определите осмотическое давление раствора при 20 °С, в 500 см<sup>3</sup> которого растворено 45 г глюкозы  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ,  $R = 8,314 \text{ дм}^3 \cdot \text{кПа}/(\text{моль} \cdot \text{К})$ .

2. Рассчитайте понижение давления насыщенного пара воды над водным раствором этиленгликоля с массовой долей  $\omega(\text{C}_2\text{H}_4(\text{OH})_2) = 62 \%$  при 298 К. Давление насыщенного пара над водой при той же температуре равно 1,8 кПа.

3. Определите температуру кипения водного раствора сахара с массовой долей  $\omega(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) = 10 \%$ . Эбуллиоскопическая постоянная ( $\Delta T$ ) для воды равна 0,52.

4. Изотоничны ли (имеют ли одинаковое осмотическое давление) растворы: в 0,5 дм<sup>3</sup> первого содержится 4,5 г глюкозы  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ , в 1 дм<sup>3</sup> второго содержится 17,1 г сахара  $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$  (условия стандартные)?

5. При какой температуре будет кипеть раствор, если в 200 см<sup>3</sup> воды растворить 43,2 г сахара  $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ ? Эбуллиоскопическая постоянная ( $\Delta T$ ) для воды равна 0,52.

6. Какую массу глюкозы  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  надо растворить в 100 см<sup>3</sup> воды, чтобы температура кипения раствора была 101 °С? Эбуллиоскопическая постоянная ( $\Delta T$ ) для воды равна 0,52.

7. Какой раствор обладает большим осмотическим давлением при стандартных условиях: содержащий 18 г глюкозы  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  в 200 см<sup>3</sup> раствора или содержащий 18 г формалина  $\text{CH}_2\text{O}$  в 200 см<sup>3</sup> раствора?

8. Глицерин массой 1,38 г растворен в 100 см<sup>3</sup> воды. Температура замерзания данного раствора составляет  $-0,279$  °С. Определите молярную массу глицерина. Криоскопическая постоянная ( $K_T$ ) для воды равна 1,86.



9. При какой температуре будет замерзать водный раствор этанола с массовой долей  $\omega(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 40\%$ ? Криоскопическая постоянная ( $K_T$ ) для воды равна 1,86.

10. Какую массу этиленгликоля  $\text{C}_2\text{H}_4(\text{OH})_2$  надо растворить в  $5 \text{ дм}^3$  воды для приготовления антифриза, замерзающего при температуре  $-40^\circ\text{C}$ ? Криоскопическая постоянная ( $K_T$ ) для воды равна 1,86.

11. Рассчитайте величину осмотического давления раствора при  $27^\circ\text{C}$ , в  $1 \text{ дм}^3$  которого содержится 68,4 г сахара  $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ .  $R = 8,314 \text{ дм}^3 \cdot \text{кПа}/(\text{моль} \cdot \text{К})$ .

12. Какую массу глюкозы  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  надо растворить в  $100 \text{ см}^3$  воды, чтобы температура замерзания раствора была  $-1^\circ\text{C}$ ? Криоскопическая постоянная ( $K_T$ ) равна 1,86.

13. Раствор, содержащий 0,502 г ацетона  $(\text{CH}_3)_2\text{CO}$  в 100 г уксусной кислоты, понижает температуру замерзания на  $0,339^\circ\text{C}$ . Вычислите криоскопическую постоянную ( $K_T$ ) для уксусной кислоты.

14. Определите давление насыщенного пара воды над раствором при  $25^\circ\text{C}$ , содержащим 54 г глюкозы  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  в  $540 \text{ см}^3$  воды. Давление насыщенного пара над водой при той же температуре равно 2,1 кПа.

15. Раствор, содержащий 6 г мочевины в  $50 \text{ см}^3$  воды, замерзает при температуре  $-3,72^\circ\text{C}$ . Вычислите молярную массу мочевины. Криоскопическая постоянная ( $K_T$ ) для воды равна 1,86.

16. Какую массу глицерина  $\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3$  надо растворить в  $2 \text{ дм}^3$  воды, чтобы получить раствор с температурой кипения  $106^\circ\text{C}$ ? Эбуллиоскопическая постоянная ( $E_T$ ) для воды равна 0,52.

17. Для приготовления антифриза в  $20 \text{ дм}^3$  воды растворено  $6 \text{ дм}^3$  глицерина  $\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3$ , плотность которого  $1,2 \text{ г}/\text{см}^3$ . Чему равна температура замерзания приготовленного антифриза? Криоскопическая постоянная ( $K_T$ ) для воды равна 1,86.

18. Раствор, содержащий 12,8 г серы в 250 г бензола, закипает при температуре на  $0,514^\circ\text{C}$  выше, чем чистый растворитель. Эбуллиоскопическая постоянная ( $E_T$ ) для бензола равна 2,57. Определите молярную массу серы в таком растворе.

19. Раствор, в  $100 \text{ см}^3$  которого содержится 0,7 г гемоглобина, имеет осмотическое давление 0,0038 атм при  $25^\circ\text{C}$ . Определите молярную массу гемоглобина.  $R = 0,082 \text{ дм}^3 \cdot \text{атм}/(\text{моль} \cdot \text{К})$ .

20. Раствор, содержащий 1,22 г бензойной кислоты  $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$  в 10 г сероуглерода, кипит при  $46,529^\circ\text{C}$ . Температура кипения

сероуглерода равна  $46,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Вычислите эбуллиоскопическую постоянную ( $\Delta T$ ) для сероуглерода.

**21.** Водный раствор сахара замерзает при температуре  $-0,96\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Определите массовую долю  $\omega(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11})$  в растворе. Криоскопическая постоянная ( $K_T$ ) для воды равна 1,86.

**22.** Вычислите массу этиленгликоля  $\text{C}_2\text{H}_4(\text{OH})_2$ , которую необходимо прибавить к  $1\text{ дм}^3$  воды для приготовления антифриза с температурой замерзания  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Криоскопическая постоянная ( $K_T$ ) для воды равна 1,86.

**23.** При некоторой температуре давление пара эфира над раствором, содержащим 31 г анилина  $\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$  в 30 молях эфира, равно  $4,6\text{ кПа}$ . Вычислите давление пара над чистым эфиром при той же температуре.

**24.** При растворении  $0,4\text{ г}$  мочевины в  $10\text{ г}$  воды температура замерзания раствора понизилась на  $1,24\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Вычислите молярную массу растворенного вещества. Криоскопическая постоянная ( $K_T$ ) для воды равна 1,86.

**25.** Определите температуру замерзания водного раствора нитробензола с массовой долей  $\omega(\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2) = 22\text{ }%$ . Криоскопическая постоянная ( $K_T$ ) для воды равна 1,86.

**26.** Раствор, в  $500\text{ см}^3$  которого содержится  $90\text{ г}$  глюкозы  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ , изотоничен (имеет одинаковое осмотическое давление) с раствором этиленгликоля  $\text{C}_2\text{H}_4(\text{OH})_2$ . Сколько граммов этиленгликоля содержится в  $1\text{ дм}^3$  такого раствора?

**27.** Какую массу формалина  $\text{CH}_2\text{O}$  необходимо растворить в  $200\text{ см}^3$  воды, чтобы температура кипения этого раствора была такой же, как и у водного раствора этиленгликоля с массовой долей  $\omega(\text{C}_2\text{H}_4(\text{OH})_2) = 30\text{ }%$ ? Эбуллиоскопическая постоянная ( $\Delta T$ ) для воды равна  $0,52$ .

**28.** Определите молярную массу этиленгликоля, если температура замерзания раствора, содержащего  $620\text{ г}$  этиленгликоля в  $930\text{ см}^3$  воды, равна  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Криоскопическая постоянная ( $K_T$ ) для воды равна 1,86.

**29.** Определите давление насыщенного пара воды над водным раствором глицерина с массовой долей  $\omega(\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3) = 4,6\text{ }%$ , при температуре  $298\text{ К}$ . Давление насыщенного пара над водой при той же температуре равно  $1,96\text{ кПа}$ .

**30.** Водный раствор этиленгликоля кипит при  $103,2\text{ }^\circ\text{C}$ . Определите массовую долю  $\omega(\text{C}_2\text{H}_4(\text{OH})_2)$  в растворе. Эбуллиоскопическая постоянная ( $E_7$ ) для воды равна  $0,52$ .

### Задачи II уровня

**1.** Рассчитайте объем раствора этанола с массовой долей  $\omega(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 96\%$  (плотность  $\rho_{\text{р-ра}} = 0,8\text{ г/см}^3$ ), который необходимо добавить к  $2\text{ дм}^3$  воды, чтобы получить жидкость для омывательного бачка автомобиля с температурой замерзания  $-20\text{ }^\circ\text{C}$ . Криоскопическая постоянная ( $K_7$ ) воды равна  $1,86$ .

**2.** Рассчитайте, какой объем этиленгликоля с массовой долей  $60\%$  (плотность  $\rho_{\text{р-ра}} = 1,08\text{ г/см}^3$ ) потребуется для приготовления  $3\text{ кг}$  водного раствора антифриза для системы охлаждения тракторного двигателя с понижением температуры замерзания до  $-30\text{ }^\circ\text{C}$ . Криоскопическая постоянная ( $K_7$ ) воды равна  $1,86$ .

**3.** Определите объем глицерина (плотность  $\rho_{\text{р-ра}} = 1,26\text{ г/см}^3$ ), который необходимо добавить к  $1\text{ дм}^3$  воды, чтобы приготовить раствор антифриза для автомобильного двигателя (температура замерзания раствора  $-65\text{ }^\circ\text{C}$ ). Криоскопическая постоянная ( $K_7$ ) воды равна  $1,86$ .

**4.** Необходимо приготовить раствор антифриза массой  $10\text{ кг}$  для автомобильного двигателя на основе воды и этиленгликоля с температурой замерзания  $-20\text{ }^\circ\text{C}$ . Рассчитайте объемы смешиваемых жидкостей, учтите, что плотность  $60\%$ -го раствора этиленгликоля равна  $1,26\text{ г/см}^3$ , а плотность воды  $-1\text{ г/см}^3$ . Криоскопическая постоянная ( $K_7$ ) воды равна  $1,86$ .

**5.** Рассчитайте, в каком соотношении необходимо смешать массы пропиленгликоля  $\text{C}_3\text{H}_6(\text{OH})_2$  и воды, чтобы понизить температуру замерзания раствора на  $60\text{ }^\circ\text{C}$ . Криоскопическая постоянная ( $K_7$ ) воды равна  $1,86$ .

**6.** Раствор, содержащий  $3$  моль свекловичного сахара в  $1\text{ дм}^3$  раствора, изотоничен (имеет одинаковое осмотическое давление) с водным раствором нитрата калия с молярной концентрацией  $C(\text{KNO}_3) = 1,8\text{ моль/дм}^3$ . Вычислите кажущуюся степень электролитической диссоциации  $\text{KNO}_3$  в указанном растворе.

7. Эритроциты имеют осмотическое давление 6,08 атм при температуре человеческого тела, равной 36,6 °С. При потере человеком крови ему вводят физиологический раствор хлорида натрия. Можно ли вводить человеку водный раствор хлорида натрия с массовой долей  $\omega(\text{NaCl}) = 0,7\%$  и плотностью 1 г/см<sup>3</sup>, полагая, что диссоциация соли полная ( $\alpha = 1$ )? Температуру раствора принять равной 36,6 °С.  $R = 0,082 \text{ атм}\cdot\text{дм}^3/(\text{моль}\cdot\text{К})$ .

### Контрольные задачи

1. Осмотическое давление водного раствора сульфата железа (II), в котором молярная концентрация  $C(\text{FeSO}_4) = 0,05 \text{ моль/дм}^3$ , при 0 °С равно 1,7 атм. Чему равна кажущаяся степень электролитической диссоциации  $\text{FeSO}_4$  в растворе?  $R = 0,082 \text{ атм}\cdot\text{дм}^3/(\text{моль}\cdot\text{К})$ .

2. Кажущаяся степень диссоциации сульфата натрия в водном растворе с массовой долей  $\omega(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 10\%$  составляет 0,65. Вычислите температуру кипения данного раствора. Эбуллиоскопическая постоянная ( $\Theta_T$ ) для воды равна 0,52.

3. Раствор, содержащий 0,834 г  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  в 1 дм<sup>3</sup> воды, замерзает при температуре  $-0,028 \text{ }^\circ\text{C}$ . Вычислите кажущуюся степень электролитической диссоциации  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  в указанном растворе. Криоскопическая постоянная ( $K_T$ ) для воды равна 1,86.

4. Вычислите кажущуюся степень диссоциации хлорида натрия в водном растворе с молярной концентрацией  $C(\text{NaCl}) = 2 \text{ моль/дм}^3$ , если осмотическое давление раствора при 0 °С равно 68,1 атм.  $R = 0,082 \text{ атм}\cdot\text{дм}^3/(\text{моль}\cdot\text{К})$ .

5. При растворении 10,1 г нитрата калия в 100 см<sup>3</sup> воды температура замерзания раствора понизилась на 3,01 °С. Определите кажущуюся степень диссоциации  $\text{KNO}_3$  в полученном растворе. Криоскопическая постоянная ( $K_T$ ) для воды равна 1,86.

6. Раствор, содержащий 0,265 г карбоната натрия в 100 см<sup>3</sup> воды, замерзает при температуре  $-0,13 \text{ }^\circ\text{C}$ . Вычислите кажущуюся степень диссоциации  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  в полученном растворе. Криоскопическая постоянная ( $K_T$ ) для воды равна 1,86.

7. Вычислите осмотическое давление водного раствора при 27 °С, в 1 дм<sup>3</sup> которого содержится 87,1 г сульфата калия. Кажущаяся степень диссоциации  $\text{K}_2\text{SO}_4$  в растворе равна 0,53.  $R = 8,314 \text{ дм}^3\cdot\text{кПа}/(\text{моль}\cdot\text{К})$ .

8. Рассчитайте понижение давления насыщенного водяного пара над раствором йодида калия, если в  $180 \text{ см}^3$  воды растворено  $16,6 \text{ г KI}$ . Кажущаяся степень диссоциации соли в водном растворе равна  $0,7$ . Давление насыщенного водяного пара над водой составляет  $1,82 \text{ кПа}$ .

9. При какой температуре будет замерзать водный раствор сульфата калия  $C_m(\text{K}_2\text{SO}_4) = 1 \text{ моль/кг H}_2\text{O}$ , если кажущаяся степень диссоциации  $\text{K}_2\text{SO}_4$  в этом растворе равна  $0,486$ ? Криоскопическая постоянная ( $K_T$ ) для воды равна  $1,86$ .

10. Каково давление пара воды над раствором при  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , содержащим  $20 \text{ г}$  хлорида калия в  $450 \text{ см}^3$  воды? Давление насыщенного пара над водой при данной температуре равно  $2,34 \text{ кПа}$ . Кажущаяся степень диссоциации  $\text{KCl}$  в растворе составляет  $0,65$ .

11. Является ли сильным электролитом серная кислота, если ее водный раствор с массовой долей  $\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = 25 \%$  кипит при  $102,8 \text{ }^\circ\text{C}$ . Обоснуйте ответ, рассчитав степень диссоциации. Учтите, что  $\text{H}_2\text{SO}_4$  в водном растворе диссоциирует по схеме:  $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HSO}_4^- + \text{H}_3\text{O}^+$ . Эбуллиоскопическая постоянная ( $\mathcal{E}_T$ ) для воды равна  $0,52$ .

12. Каково давление пара воды над раствором при  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , содержащим  $20 \text{ г}$  хлорида натрия в  $450 \text{ см}^3$  воды? Давление насыщенного пара над водой при данной температуре равно  $2,34 \text{ кПа}$ . Кажущаяся степень диссоциации  $\text{NaCl}$  в растворе составляет  $0,65$ .

13. Вычислите температуру замерзания водного раствора серной кислоты с массовой долей  $\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = 25 \%$ . Кажущаяся степень диссоциации  $\text{H}_2\text{SO}_4$  в этом растворе составляет  $0,58$ . Криоскопическая постоянная ( $K_T$ ) для воды равна  $1,86$ . Учтите, что серная кислота в водном растворе диссоциирует по схеме:  $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HSO}_4^- + \text{H}_3\text{O}^+$ .

14. Раствор, содержащий  $12 \text{ г}$  гидроксида натрия в  $100 \text{ см}^3$  воды, кипит при температуре  $102,65 \text{ }^\circ\text{C}$ . Определите кажущуюся степень диссоциации  $\text{NaOH}$  в растворе. Эбуллиоскопическая постоянная ( $\mathcal{E}_T$ ) для воды равна  $0,52$ .

15. Вычислите осмотическое давление водного раствора при  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ , в  $200 \text{ см}^3$  которого содержится  $5,85 \text{ г}$  хлорида натрия. Кажущаяся степень диссоциации  $\text{NaCl}$  в растворе равна  $0,8$ .  $R = 8,314 \text{ дм}^3 \cdot \text{кПа}/(\text{моль} \cdot \text{К})$ .

16. Определите температуру замерзания раствора, если в  $150 \text{ см}^3$  воды растворено  $11,1 \text{ г}$  хлорида кальция. Кажущаяся степень диссоциации  $\text{CaCl}_2$  в водном растворе составляет  $0,75$ . Криоскопическая постоянная ( $K_T$ ) для воды равна  $1,86$ .

17. При какой температуре будет замерзать раствор хлорида кальция, содержащий  $20 \text{ г}$  соли в  $1 \text{ дм}^3$  воды, если кажущаяся степень диссоциации  $\text{CaCl}_2$  в этом растворе равна  $0,7$ ? Криоскопическая постоянная ( $K_T$ ) для воды равна  $1,86$ .

18. Определите кажущуюся степень диссоциации хлорида натрия в водном растворе, если  $10 \text{ г}$   $\text{NaCl}$  растворено в  $90 \text{ см}^3$  воды. Температура кипения этого раствора равна  $101,6 \text{ }^\circ\text{C}$ . Эбуллиоскопическая постоянная ( $\Delta T$ ) для воды равна  $0,52$ .

19. Каково давление пара воды над раствором, содержащим  $10 \text{ г}$  хлорида натрия в  $250 \text{ см}^3$  воды при  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ? Давление насыщенного пара над водой при данной температуре равно  $2,09 \text{ кПа}$ . Кажущаяся степень диссоциации  $\text{NaCl}$  в растворе составляет  $0,75$ .

20. Температура кипения водного раствора хлорида натрия с массовой долей  $\omega(\text{NaCl})$ , равной  $25 \%$ , составляет  $104,6 \text{ }^\circ\text{C}$ . Рассчитайте кажущуюся степень диссоциации соли в растворе. Эбуллиоскопическая постоянная ( $\Delta T$ ) для воды равна  $0,52$ .

21. Определите кажущуюся степень диссоциации нитрата аммония в водном растворе с массовой долей  $\omega(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 25 \%$ , если его температура кипения составляет  $102,5 \text{ }^\circ\text{C}$ . Эбуллиоскопическая постоянная ( $\Delta T$ ) для воды равна  $0,52$ .

22. Определите температуру кипения водного раствора азотной кислоты с массовой долей  $\omega(\text{HNO}_3) = 36 \%$ . Кажущаяся степень диссоциации  $\text{HNO}_3$  равна  $0,92$ . Эбуллиоскопическая постоянная ( $\Delta T$ ) для воды равна  $0,52$ .

23. Кажущаяся степень диссоциации гидроксида натрия в растворе равна  $0,91$ . Определите относительное понижение давления насыщенного пара растворителя над раствором с массовой долей  $\omega(\text{NaOH}) = 30 \%$  при  $298 \text{ К}$ . Давление насыщенного пара воды при  $298 \text{ К}$  равно  $P^\circ = 2,16 \text{ кПа}$ .

24. При какой температуре будет замерзать водный раствор гидроксида натрия  $C_m(\text{NaOH}) = 1 \text{ моль/кг}$   $\text{H}_2\text{O}$ , если кажущаяся степень диссоциации  $\text{NaOH}$  в данном растворе равна  $0,73$ ? Криоскопическая постоянная ( $K_T$ ) для воды равна  $1,86$ .

**25.** Для водного раствора нитрата свинца (II) с моляльной концентрацией  $C_m(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2)$ , равной 0,1 моль/кг, изотонический коэффициент равен 2,3. Вычислите кажущуюся степень диссоциации соли в растворе и изменение температуры кипения данного раствора. Эбуллиоскопическая постоянная ( $E_7$ ) для воды равна 0,52.

**26.** Вычислите степень диссоциации иодноватой кислоты и концентрацию ионов водорода при диссоциации в растворе с молярной концентрацией  $C(\text{HIO}_3) = 1$  моль/дм<sup>3</sup>. При 25 °С константа диссоциации  $K_1(\text{HIO}_3) = 1,7 \cdot 10^{-2}$ .

**27.** Вычислите степень диссоциации ортофосфорной кислоты по I ступени и концентрацию ионов водорода в растворе с молярной концентрацией  $C(\text{H}_3\text{PO}_4) = 1$  моль/дм<sup>3</sup>. При 25 °С константа диссоциации  $K_1(\text{H}_3\text{PO}_4) = 7,5 \cdot 10^{-3}$ .

**28.** Вычислите степень диссоциации угольной кислоты по I ступени и концентрацию ионов водорода в растворе с молярной концентрацией  $C(\text{H}_2\text{CO}_3) = 0,01$  моль/дм<sup>3</sup>. При 25 °С константа диссоциации  $K_1(\text{H}_2\text{CO}_3) = 4,45 \cdot 10^{-7}$ .

**29.** Вычислите степень диссоциации сернистой кислоты по I ступени и концентрацию ионов водорода в растворе с молярной концентрацией  $C(\text{H}_2\text{SO}_3) = 1$  моль/дм<sup>3</sup>. При 25 °С константа диссоциации  $K_1(\text{H}_2\text{SO}_3) = 1,6 \cdot 10^{-2}$ .

**30.** Вычислите степень диссоциации сероводородной кислоты по I ступени и концентрацию ионов водорода в растворе с молярной концентрацией  $C(\text{H}_2\text{S}) = 0,01$  моль/дм<sup>3</sup>. При 25 °С константа диссоциации  $K_1(\text{H}_2\text{S}) = 6 \cdot 10^{-8}$ .

## 9. ГИДРОЛИЗ СОЛЕЙ

### Типовые задачи и их решения

1. Напишите ионно-молекулярные и молекулярные уравнения гидролиза сульфата меди (II)  $\text{CuSO}_4$  по I ступени. Определите реакцию среды (pH).

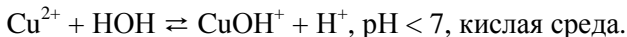
**Решение.** Составим уравнение диссоциации соли  $\text{CuSO}_4$ :



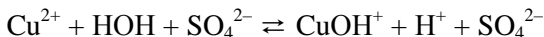
В состав соли входит катион  $\text{Cu}^{2+}$  (соответствует слабому основанию  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ ) и анион  $\text{SO}_4^{2-}$  (соответствует сильной кислоте  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), поэтому в реакцию с водой вступает катион  $\text{Cu}^{2+}$  слабого основания (гидролиз по катиону).

Гидролиз *по катиону* приводит к связыванию гидроксид-анионов воды с катионом металла и накоплению катионов водорода в растворе, образуя кислую среду ( $\text{pH} < 7$ ).

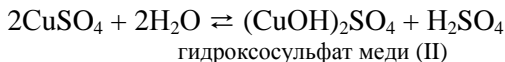
Запишем сокращенное ионно-молекулярное уравнение гидролиза по катиону:



Добавив в правую и левую части анион  $\text{SO}_4^{2-}$  сильной кислоты, получим полное ионно-молекулярное уравнение гидролиза:



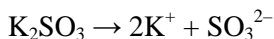
Соединив соответствующие катионы и анионы, получим уравнение гидролиза в молекулярной форме:



2. Напишите ионно-молекулярные и молекулярные уравнения гидролиза сульфита калия  $\text{K}_2\text{SO}_3$  по I ступени. Определите реакцию среды (pH).



**Решение.** Составим уравнение диссоциации соли  $K_2SO_3$ :



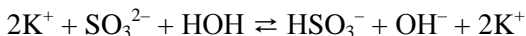
В состав соли входит катион  $K^+$  (соответствует сильному основанию KOH) и анион  $SO_3^{2-}$  (соответствует слабой кислоте  $H_2SO_3$ ), поэтому в реакцию с водой вступает анион  $SO_3^{2-}$  слабой кислоты (гидролиз по аниону).

Гидролиз **по аниону** приводит к связыванию катионов водорода воды с анионом кислотного остатка и накоплению гидроксид-анионов в растворе, создавая щелочную среду ( $pH > 7$ ).

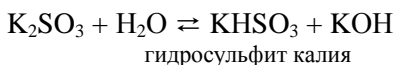
Запишем сокращенное ионно-молекулярное уравнение гидролиза по аниону:



Добавив в правую и левую части два катиона калия  $K^+$  сильного основания (согласно уравнению диссоциации), получим полное ионно-молекулярное уравнение гидролиза:



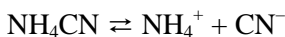
Соединив соответствующие катионы и анионы, получим уравнение гидролиза в молекулярной форме:



**3.** Напишите ионно-молекулярные и молекулярные уравнения гидролиза цианида аммония  $NH_4CN$ . Определите реакцию среды ( $pH$ ).

**Решение.** Особенно глубоко протекает гидролиз соли, в состав которой входит катион, соответствующий слабому основанию, и анион, соответствующий слабой кислоте (**совместный гидролиз**). В реакцию с водой в таком случае вступают как катионы, так и анионы соли.

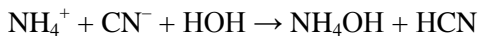
Составим уравнение диссоциации соли  $NH_4CN$ :



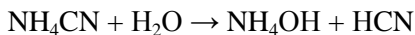
Гидролиз по катиону:  $\text{NH}_4^+ + \text{HOH} \rightleftharpoons \text{NH}_4\text{OH} + \text{H}^+$ .

Гидролиз по аниону:  $\text{CN}^- + \text{HOH} \rightleftharpoons \text{HCN} + \text{OH}^-$ .

Суммарное ионно-молекулярное уравнение совместного гидролиза **по аниону и по катиону** запишется в виде (по I ступени):



Соединив соответствующие катионы и анионы, получим уравнение гидролиза в молекулярной форме:



Так, при гидролизе по катиону образуются катионы водорода  $\text{H}^+$ , а при гидролизе по аниону – гидроксид-анионы  $\text{OH}^-$ . Указанные ионы в значительных концентрациях соединяются, образуя молекулы воды. Это приводит к смещению равновесий обеих реакций вправо.

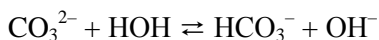
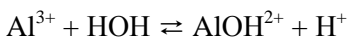
Гидролиз по катиону и по аниону в этом случае усиливают друг друга. Реакция растворов солей, образованных слабым гидроксидом и слабой кислотой, зависит от соотношения константы основности гидроксида и константы кислотности кислоты, образующих соль.

Если константа основности ( $K_{\text{O}}$ ) больше константы кислотности ( $K_{\text{K}}$ ), то раствор будет иметь слабощелочную реакцию ( $\text{pH} > 7$ ), при обратном соотношении констант – слабокислую ( $\text{pH} < 7$ ).

При 25 °С константы кислотности и основности данных электролитов составляют  $K_{\text{K}}(\text{HCN}) = 7,9 \cdot 10^{-10}$ ;  $K_{\text{O}}(\text{NH}_4\text{OH}) = 2 \cdot 10^{-5}$ . Поскольку  $K_{\text{O}}(\text{NH}_4\text{OH}) > K_{\text{K}}(\text{HCN})$ , то раствор имеет слабощелочную реакцию среды, т. е.  $\text{pH} > 7$ .

**4.** Что произойдет при смешивании водного раствора хлорида алюминия  $\text{AlCl}_3$  с водным раствором карбоната натрия  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ? Определите реакцию среды (pH).

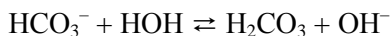
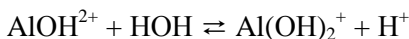
**Решение.** До смешивания в растворе каждой соли протекает гидролиз по I ступени, т. е. гидролизу подвергается катион алюминия  $\text{Al}^{3+}$  и анион-карбонат  $\text{CO}_3^{2-}$ .



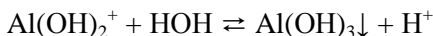
После смешивания растворов образующиеся катион водорода  $H^+$  и гидроксид-анион  $OH^-$  соединяются, образуя молекулы воды:



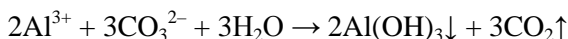
Это приводит к смещению равновесий обеих реакций вправо и протеканию II степени гидролиза:



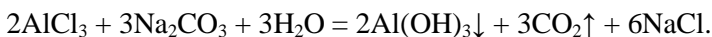
и III степени гидролиза:



Сокращенное ионно-молекулярное уравнение совместного гидролиза:



Молекулярное уравнение гидролиза:



При  $25^\circ C$   $K_3(Al(OH)_3) = 1,38 \cdot 10^{-9} > K_2(H_2CO_3) = 4,7 \cdot 10^{-11}$ .

Следовательно, среда слабощелочная, т. е.  $pH > 7$ .

**5.** Вычислите pH водных растворов HBr с молярной концентрацией равной  $0,02$  моль/дм<sup>3</sup> и NaOH с молярной концентрацией равной  $0,2$  моль/дм<sup>3</sup>.

*Дано:*

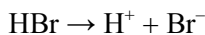
$$C(HBr) = 0,02 \text{ моль/дм}^3$$

$$C(NaOH) = 0,2 \text{ моль/дм}^3$$

pH – ?

*Решение*

Бромоводородная кислота является сильным электролитом, который практически полностью диссоциирует на ионы:



В разбавленном растворе степень диссоциации  $\alpha = 1$ . Тогда молярная концентрация ионов водорода может быть рассчитана по формуле

$$C(\text{H}^+) = C(\text{HBr}) \cdot \alpha \cdot n(\text{H}^+),$$

где  $n(\text{H}^+)$  – число катионов водорода, образовавшихся при диссоциации одной молекулы HBr, т. е.  $n(\text{H}^+) = 1$ .

Рассчитаем  $C(\text{H}^+)$ :

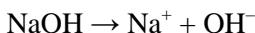
$$C(\text{H}^+) = C(\text{HBr}) \cdot \alpha \cdot n(\text{H}^+) = 0,02 \cdot 1 \cdot 1 = 2 \cdot 10^{-2} \text{ моль/дм}^3.$$

Подставляем значения в формулу для водородного показателя:

$$\text{pH} = -\lg [\text{H}^+];$$

$$\text{pH} = -\lg (2 \cdot 10^{-2}) = -\lg 2 - \lg 10^{-2} = -0,3 + 2 = 1,7.$$

Гидроксид натрия является сильным электролитом, в растворе практически полностью распадается на ионы:



В разбавленном растворе степень диссоциации можно принять равной 1 ( $\alpha = 1$ ). Тогда молярная концентрация гидроксид-анионов может быть вычислена по формуле

$$C(\text{OH}^-) = C(\text{NaOH}) \cdot \alpha \cdot n(\text{OH}^-),$$

где  $n(\text{OH}^-)$  – число гидроксид-анионов, образовавшихся при диссоциации одной молекулы NaOH;  $n(\text{OH}^-) = 1$ .

Определяем значение молярной концентрации гидроксид-анионов:

$$C(\text{OH}^-) = C(\text{NaOH}) \cdot \alpha \cdot n(\text{OH}^-) = 0,2 \cdot 1 \cdot 1 = 2 \cdot 10^{-1} \text{ моль/дм}^3.$$

Подставляем значения в формулу для определения рОН:

$$\text{pOH} = -\lg [\text{OH}^-] = -\lg (2 \cdot 10^{-1}) = -\lg 2 - \lg 10^{-1} = -0,3 + 1 = 0,7.$$

Определяем рН, используя формулу

$$\text{pH} + \text{pOH} = 14.$$

Следовательно,  $\text{pH} = 14 - 0,7 = 13,3$ .

**Ответ:**  $\text{pH} = 1,7$ ;  $\text{pH} = 13,3$ .

6. Вычислите рН водного раствора хлорноватистой кислоты с молярной концентрацией  $C(\text{HClO}) = 0,05$  моль/дм<sup>3</sup>.  $K_K = 5,0 \cdot 10^{-8}$  моль/дм<sup>3</sup>.

**Дано:**

$$K_K = 5,0 \cdot 10^{-8} \text{ моль/дм}^3$$

$$C(\text{HClO}) = 0,05 \text{ моль/дм}^3$$

рН – ?

**Решение**

Хлорноватистая кислота является слабым электролитом, диссоциирует обратимо по уравнению реакции



В соответствии с законом разбавления Оствальда степень диссоциации слабых электролитов определяется по формуле

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_K}{C}},$$

где  $K_K$  – константа равновесия реакции диссоциации слабой кислоты на катион водорода и анион кислотного остатка (константа кислотности), моль/дм<sup>3</sup>;

$C$  – молярная концентрация вещества, моль/дм<sup>3</sup>.

Тогда подставив значения, получим:

$$\alpha = \sqrt{\frac{5,0 \cdot 10^{-8}}{5,0 \cdot 10^{-2}}} = 10^{-3}.$$

Молярную концентрацию катионов водорода определяем по формуле

$$C(\text{H}^+) = C(\text{HClO}) \cdot \alpha \cdot n(\text{H}^+),$$

где  $n(\text{H}^+)$  – число ионов водорода, образовавшихся при электролитической диссоциации одной молекулы кислоты. Для HClO число  $n(\text{H}^+) = 1$ .

Тогда

$$C(\text{H}^+) = 5 \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-3} \cdot 1 = 5 \cdot 10^{-5} \text{ моль/дм}^3.$$

В итоге:  $\text{pH} = -\lg(5 \cdot 10^{-5}) = -\lg 5 - \lg 10^{-5} = -0,7 + 5 = 4,3$ .

**Ответ:**  $\text{pH} = 4,3$ .

### Задачи I уровня

Напишите ионно-молекулярные и молекулярные уравнения гидролиза солей (по I ступени), укажите реакцию среды (pH) их водных растворов и назовите полученные соединения:

- а) фторида натрия NaF; б) хлорида цинка  $\text{ZnCl}_2$ .
- а) сульфита калия  $\text{K}_2\text{SO}_3$ ; б) нитрата никеля (II)  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ .
- а) сульфата алюминия  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ; б) сульфида натрия  $\text{Na}_2\text{S}$ .
- а) хлорида железа (III)  $\text{FeCl}_3$ ; б) нитрита натрия  $\text{NaNO}_2$ .
- а) карбоната лития  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ; б) хлорида аммония  $\text{NH}_4\text{Cl}$ .
- а) ацетата натрия  $\text{CH}_3\text{COONa}$ ; б) сульфата марганца (II)  $\text{MnSO}_4$ .
- а) сульфата хрома (III)  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ ; б) сульфита натрия  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ .
- а) сульфата аммония  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ; б) цианида кальция  $\text{Ca}(\text{CN})_2$ .
- а) хлорида олова (II)  $\text{SnCl}_2$ ; б) сульфида бария BaS.
- а) нитрата меди  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ; б) сульфита лития  $\text{Li}_2\text{SO}_3$ .
- а) хлорида железа (II)  $\text{FeCl}_2$ ; б) цианида калия KCN.
- а) нитрата меди (II)  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ; б) сульфида калия  $\text{K}_2\text{S}$ .
- а) сульфата цинка  $\text{ZnSO}_4$ ; б) нитрита бария  $\text{Ba}(\text{NO}_2)_2$ .
- а) сульфата железа (III)  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ; б) карбоната калия  $\text{K}_2\text{CO}_3$ .
- а) нитрата свинца (II)  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ; б) силиката натрия  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ .

## Задачи II уровня

1. Что произойдет при смешивании водных растворов цианида натрия  $\text{NaCN}$  и хлорида аммония  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ? Напишите ионно-молекулярные и молекулярное уравнения совместного гидролиза. Укажите реакцию среды (рН) полученного раствора, если константы ионизации слабых электролитов равны:  $K_1(\text{HCN}) = 7,2 \cdot 10^{-10}$  моль/дм<sup>3</sup>;  $K_1(\text{NH}_4\text{OH}) = 1,79 \cdot 10^{-5}$  моль/дм<sup>3</sup>.

2. Почему в водных растворах хлорид железа (II)  $\text{FeCl}_2$  и сульфит натрия  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  взаимно усиливают гидролиз? Напишите ионно-молекулярные и молекулярное уравнения совместного гидролиза. Укажите реакцию среды (рН) полученного раствора, если константы протолиза слабых электролитов равны:  $K_2(\text{H}_2\text{SO}_3) = 5 \cdot 10^{-6}$  моль/дм<sup>3</sup>;  $K_2(\text{Fe}(\text{OH})_2) = 1,3 \cdot 10^{-4}$  моль/дм<sup>3</sup>.

3. Напишите ионно-молекулярные и молекулярное уравнения гидролиза, происходящего при смешивании водных растворов солей  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  и  $\text{Li}_2\text{S}$ . Определите реакцию среды, если при 25 °С  $K_3(\text{Al}(\text{OH})_3) = 1,38 \cdot 10^{-9}$  моль/дм<sup>3</sup>;  $K_2(\text{H}_2\text{S}) = 1 \cdot 10^{-12}$  моль/дм<sup>3</sup>.

4. Напишите ионно-молекулярные и молекулярное уравнения гидролиза, происходящего при смешивании водных растворов солей  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  и  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ . Определите реакцию среды, если при 25 °С  $K_1(\text{NH}_4\text{OH}) = 1,79 \cdot 10^{-5}$  моль/дм<sup>3</sup>;  $K_2(\text{H}_2\text{SO}_3) = 5 \cdot 10^{-6}$  моль/дм<sup>3</sup>.

5. Напишите ионно-молекулярные и молекулярное уравнения гидролиза, происходящего при смешивании водных растворов солей  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$  и  $\text{K}_3\text{PO}_4$ . Определите реакцию среды, если при 25 °С  $K_2(\text{Fe}(\text{OH})_2) = 1,3 \cdot 10^{-4}$  моль/дм<sup>3</sup>;  $K_3(\text{H}_3\text{PO}_4) = 2,2 \cdot 10^{-13}$  моль/дм<sup>3</sup>.

6. Напишите ионно-молекулярные и молекулярное уравнения гидролиза, происходящего при смешивании водных растворов солей  $\text{CuBr}_2$  и  $\text{KCN}$ . Определите реакцию среды, если при 25 °С  $K_2(\text{Cu}(\text{OH})_2) = 3,4 \cdot 10^{-7}$  моль/дм<sup>3</sup>;  $K_1(\text{HCN}) = 7,9 \cdot 10^{-10}$  моль/дм<sup>3</sup>.

7. Напишите ионно-молекулярные и молекулярное уравнения гидролиза, происходящего при смешивании водных растворов солей  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  и  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ . Определите реакцию среды, если при 25 °С  $K_2(\text{Pb}(\text{OH})_2) = 9,6 \cdot 10^{-4}$  моль/дм<sup>3</sup>;  $K_2(\text{H}_2\text{CO}_3) = 5,61 \cdot 10^{-11}$  моль/дм<sup>3</sup>.

## Контрольные задачи

Напишите ионно-молекулярные и молекулярные уравнения гидролиза по I ступени, укажите реакцию среды (рН) водных растворов солей и назовите полученные соединения:

1.  $\text{CrCl}_3$ ;  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ .
2.  $\text{ZnSO}_4$ ;  $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$ .
3.  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ ;  $\text{CH}_3\text{COONa}$ .
4.  $\text{K}_3\text{PO}_4$ ;  $\text{CuBr}_2$ .
5.  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ;  $\text{KCN}$ .
6.  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ;  $\text{Ba}(\text{NO}_2)_2$ .
7.  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ;  $\text{Li}_2\text{S}$ .
8.  $\text{KF}$ ;  $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$ .
9.  $\text{MnSO}_4$ ;  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ .
10.  $\text{NiCl}_2$ ;  $\text{Ca}(\text{CN})_2$ .
11.  $\text{LiF}$ ;  $\text{NiCl}_2$ .
12.  $\text{K}_2\text{SiO}_3$ ;  $\text{MgCl}_2$ .
13.  $\text{AlI}_3$ ;  $\text{CH}_3\text{COOK}$ .
14.  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ;  $\text{K}_2\text{SiO}_3$ .
15.  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$ ;  $\text{Na}_2\text{S}$ .
16.  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ ;  $\text{NaNO}_2$ .
17.  $\text{K}_3\text{PO}_4$ ;  $\text{CuBr}_2$ .
18.  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ;  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ .
19.  $\text{FeCl}_3$ ;  $\text{K}_2\text{S}$ .
20.  $\text{CuCl}_2$ ;  $\text{NaF}$ .

21. Вычислите рН водного раствора сернистой кислоты с молярной концентрацией  $C(\text{H}_2\text{SO}_3) = 0,1$  моль/дм<sup>3</sup>.  $K_1(\text{H}_2\text{SO}_3) = 1,3 \cdot 10^{-2}$  моль/дм<sup>3</sup>.

22. Вычислите рН водного раствора сероводородной кислоты с молярной концентрацией  $C(\text{H}_2\text{S}) = 0,1$  моль/дм<sup>3</sup>.  $K_1(\text{H}_2\text{S}) = 9,1 \cdot 10^{-8}$  моль/дм<sup>3</sup>.

23. Вычислите рН водного раствора угольной кислоты с молярной концентрацией  $C(\text{H}_2\text{CO}_3) = 0,1$  моль/дм<sup>3</sup>.  $K_1(\text{H}_2\text{CO}_3) = 4,31 \cdot 10^{-7}$  моль/дм<sup>3</sup>.

24. Вычислите рН водного раствора ортофосфорной кислоты с молярной концентрацией  $C(\text{H}_3\text{PO}_4) = 0,1$  моль/дм<sup>3</sup>.  $K_1(\text{H}_3\text{PO}_4) = 7,5 \cdot 10^{-3}$  моль/дм<sup>3</sup>.



**25.** Вычислите pH водного раствора серной кислоты с молярной концентрацией  $C(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,1$  моль/дм<sup>3</sup>.

**26.** Вычислите pH водного раствора иодоводородной кислоты с молярной концентрацией  $C(\text{HI}) = 0,1$  моль/дм<sup>3</sup>.

**27.** Вычислите pH водного раствора азотной кислоты с молярной концентрацией  $C(\text{HNO}_3) = 0,05$  моль/дм<sup>3</sup>.

**28.** Вычислите pH водного раствора гидроксида лития с молярной концентрацией  $C(\text{LiOH}) = 0,1$  моль/дм<sup>3</sup>.

**29.** Вычислите pH водного раствора бромноватистой кислоты с молярной концентрацией  $C(\text{HBrO}) = 0,1$  моль/дм<sup>3</sup>.  $K_1(\text{HBrO}) = 2,06 \cdot 10^{-9}$  моль/дм<sup>3</sup>.

**30.** Вычислите pH водного раствора гидроксида калия с молярной концентрацией  $C(\text{KOH}) = 0,05$  моль/дм<sup>3</sup>.

## 10. ГРУБОДИСПЕРСНЫЕ И КОЛЛОИДНЫЕ СИСТЕМЫ

### Типовые задачи и их решения

1. Составьте схему строения мицеллы, полученной при взаимодействии водных растворов бромида калия (в избытке) и нитрата серебра по реакции  $\text{AgNO}_3 + \text{KBr}_{(\text{избыток})} = \text{AgBr}_{(\text{золь})} \downarrow + \text{KNO}_3$ . Назовите составные части мицеллы.

**Решение.** Основу мицеллы составляет *коллоидная частица* золя бромида серебра, которая является микрокристаллом (твердая фаза), состоящая из  $m$  молекул бромида серебра ( $[m \text{ AgBr}]$ ). В коллоидной частице  $[m \text{ AgBr}]$  ионы расположены в том же порядке, что и в кристаллической решетке  $\text{AgBr}$  и эта частица нейтральна. Ниже изображена схема строения мицеллы (рис. 11).

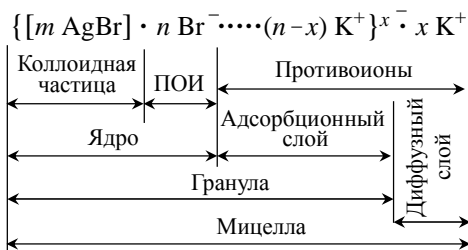


Рис. 11. Схема строения мицеллы

При формировании коллоидной частицы образованный микрокристалл способен избирательно адсорбировать из раствора катионы  $\text{Ag}^+$  или бромид-анионы  $\text{Br}^-$  (это зависит от того, какой из них находится в избытке). Поскольку реакция проводится в избытке бромида калия, то на поверхности микрокристалла адсорбируются  $n$  ионов  $\text{Br}^-$ , которые формируют отрицательный заряд коллоидной частицы и являются *потенциалопределяющими ионами* (ПОИ). Коллоидная частица  $[m \text{ AgBr}]$  вместе с ПОИ ( $n \text{ Br}^-$ ), т. е. заряженный микрокристалл бромида серебра, составляют *ядро* мицеллы. Адсорбированные ПОИ притягивают из раствора ионы противоположного знака (*противоионы*), имеющиеся в избытке. В данном случае это катионы  $\text{K}^+$ , которые не могут войти в кристаллическую структуру коллоидной частицы. Одна часть противоионов  $(n-x)\text{K}^+$  адсорбируется

на поверхности ядра, образуя *адсорбционный слой* противоионов. Другая часть противоионов  $x K^+$  образуют подвижный *диффузный слой* противоионов, а их число определяется условием электронейтральности мицеллы. Ядро вместе с адсорбционным слоем называется *гранулой*. В данном случае гранула заряжена отрицательно, так как отрицательный заряд ПОИ  $n Br^-$  по величине превосходит положительный заряд противоионов адсорбционного слоя  $(n-x)K^+$ . Отсюда следует, что знак заряда гранулы соответствует знаку заряда ПОИ. Гранула вместе с противоионами диффузного слоя является электронейтральной частицей дисперсной фазы и называется *мицеллой*.

### Задачи I уровня

Назовите составные части мицеллы и запишите уравнение реакции получения коллоидной частицы золя:

1.  $\{[m AgBr] \cdot n Ag^+ \dots (n-x) NO_3^-\}^{x+} \cdot x NO_3^-$ .
2.  $\{[m Mg(OH)_2] \cdot n OH^- \dots (n-x) Na^+\}^{x-} \cdot x Na^+$ .
3.  $\{[m Al(OH)_3] \cdot n Al^{3+} \dots 3(n-x) NO_3^-\}^{3x+} \cdot 3x NO_3^-$ .
4.  $\{[m CaSO_4] \cdot n Ca^{2+} \dots 2(n-x) Cl^-\}^{2x+} \cdot 2x Cl^-$ .
5.  $\{[m CaSO_4] \cdot n SO_4^{2-} \dots 2(n-x) K^+\}^{2x-} \cdot 2x K^+$ .
6.  $\{[m CaSiO_3] \cdot n SiO_3^{2-} \dots 2(n-x) K^+\}^{2x-} \cdot 2x K^+$ .
7.  $\{[m CaSiO_3] \cdot n Ca^{2+} \dots 2(n-x) Br^-\}^{2x+} \cdot 2x Br^-$ .
8.  $\{[m Fe(OH)_2] \cdot n OH^- \dots (n-x) K^+\}^{x-} \cdot x K^+$ .
9.  $\{[m Fe(OH)_2] \cdot n FeOH^+ \dots (n-x) Cl^-\}^{x+} \cdot x Cl^-$ .
10.  $\{[m AgBr] \cdot n Br^- \dots (n-x) Li^+\}^{x-} \cdot x Li^+$ .
11.  $\{[m Fe(OH)_3] \cdot n Fe^{3+} \dots 3(n-x) NO_3^-\}^{3x+} \cdot 3x NO_3^-$ .
12.  $\{[m Cu(OH)_2] \cdot n OH^- \dots (n-x) K^+\}^{x-} \cdot x K^+$ .
13.  $\{[m Cu(OH)_2] \cdot n Cu^{2+} \dots 2(n-x) Cl^-\}^{2x+} \cdot 2x Cl^-$ .
14.  $\{[m Ag_2SO_4] \cdot n SO_4^{2-} \dots 2(n-x) H^+\}^{2x-} \cdot 2x H^+$ .
15.  $\{[m Ag_2SO_4] \cdot n Ag^+ \dots (n-x) NO_3^-\}^{x+} \cdot x NO_3^-$ .
16.  $\{[m AgI] \cdot n Ag^+ \dots (n-x) NO_3^-\}^{x+} \cdot x NO_3^-$ .
17.  $\{[m Al(OH)_3] \cdot n OH^- \dots (n-x) Na^+\}^{x-} \cdot x Na^+$ .
18.  $\{[m Al(OH)_3] \cdot n Al^{3+} \dots 3(n-x) Cl^-\}^{3x+} \cdot 3x Cl^-$ .
19.  $\{[m BaSO_4] \cdot n Ba^{2+} \dots 2(n-x) Cl^-\}^{2x+} \cdot 2x Cl^-$ .
20.  $\{[m BaSO_4] \cdot n SO_4^{2-} \dots 2(n-x) K^+\}^{2x-} \cdot 2x K^+$ .
21.  $\{[m H_2SiO_3] \cdot n SiO_3^{2-} \dots 2(n-x) K^+\}^{2x-} \cdot 2x K^+$ .
22.  $\{[m H_2SiO_3] \cdot n H^+ \dots (n-x) Br^-\}^{x+} \cdot x Br^-$ .
23.  $\{[m Fe(OH)_3] \cdot n OH^- \dots (n-x) K^+\}^{x-} \cdot x K^+$ .

24.  $\{[m \text{Fe}(\text{OH})_3] \cdot n \text{FeOH}^{2+} \dots 2(n-x) \text{Cl}^-\}^{2x+} \cdot 2x \text{Cl}^-$ .
25.  $\{[m \text{AgCl}] \cdot n \text{Cl}^- \dots (n-x) \text{Li}^+\}^{x-} \cdot x \text{Li}^+$ .
26.  $\{[m \text{Cr}(\text{OH})_3] \cdot n \text{Cr}^{3+} \dots 3(n-x) \text{NO}_3^-\}^{3x+} \cdot 3x \text{NO}_3^-$ .
27.  $\{[m \text{Ni}(\text{OH})_2] \cdot n \text{OH}^- \dots (n-x) \text{K}^+\}^{x-} \cdot x \text{K}^+$ .
28.  $\{[m \text{Ni}(\text{OH})_2] \cdot n \text{Ni}^{2+} \dots 2(n-x) \text{Cl}^-\}^{2x+} \cdot 2x \text{Cl}^-$ .
29.  $\{[m \text{PbSO}_4] \cdot n \text{SO}_4^{2-} \dots 2(n-x) \text{H}^+\}^{2x-} \cdot 2x \text{H}^+$ .
30.  $\{[m \text{PbSO}_4] \cdot n \text{Pb}^{2+} \dots 2(n-x) \text{NO}_3^-\}^{2x+} \cdot 2x \text{NO}_3^-$ .

## Задачи II уровня

Составьте схему строения мицеллы, полученной по реакции:

1.  $\text{AgNO}_3 \text{ (избыток)} + \text{KCl} = \text{AgCl} \text{ (золь)} \downarrow + \text{KNO}_3$ .
2.  $\text{AgNO}_3 + \text{HCl} \text{ (избыток)} = \text{AgCl} \text{ (золь)} \downarrow + \text{HNO}_3$ .
3.  $\text{BaCl}_2 \text{ (избыток)} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{BaSO}_4 \text{ (золь)} \downarrow + 2\text{HCl}$ .
4.  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4 \text{ (избыток)} = \text{BaSO}_4 \text{ (золь)} \downarrow + 2\text{NaNO}_3$ .
5.  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 \text{ (избыток)} = \text{PbSO}_4 \text{ (золь)} \downarrow + 2\text{KNO}_3$ .
6.  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2 \text{ (избыток)} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{PbSO}_4 \text{ (золь)} \downarrow + 2\text{HNO}_3$ .

## Контрольные задачи

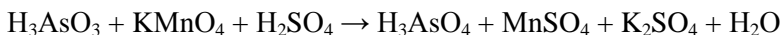
Составьте схему строения мицеллы, полученной при взаимодействии указанных водных растворов. Назовите составные части мицеллы.

1.  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \text{ (избыток)} + 2\text{KF} = \text{MgF}_2 \text{ (золь)} \downarrow + 2\text{KNO}_3$ .
2.  $\text{FeBr}_2 \text{ (избыток)} + \text{K}_2\text{S} = \text{FeS} \text{ (золь)} \downarrow + 2\text{KBr}$ .
3.  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NaOH} \text{ (избыток)} = \text{Pb}(\text{OH})_2 \text{ (золь)} \downarrow + 2\text{NaNO}_3$ .
4.  $\text{MnCl}_2 + 2\text{KOH} \text{ (избыток)} = \text{Mn}(\text{OH})_2 \text{ (золь)} \downarrow + 2\text{KCl}$ .
5.  $\text{ZnSO}_4 + 2\text{LiOH} \text{ (избыток)} = \text{Zn}(\text{OH})_2 \text{ (золь)} \downarrow + \text{Li}_2\text{SO}_4$ .
6.  $\text{SrCl}_2 \text{ (избыток)} + \text{Na}_2\text{SO}_4 = \text{SrSO}_4 \text{ (золь)} \downarrow + 2\text{NaCl}$ .
7.  $\text{K}_2\text{SiO}_3 \text{ (избыток)} + \text{CaCl}_2 = \text{CaSiO}_3 \text{ (золь)} \downarrow + 2\text{KCl}$ .
8.  $\text{K}_2\text{SiO}_3 + \text{CaCl}_2 \text{ (избыток)} = \text{CaSiO}_3 \text{ (золь)} \downarrow + 2\text{KCl}$ .
9.  $2\text{NaOH} \text{ (избыток)} + \text{MgSO}_4 = \text{Mg}(\text{OH})_2 \text{ (золь)} \downarrow + \text{Na}_2\text{SO}_4$ .
10.  $2\text{NaOH} + \text{MgSO}_4 \text{ (избыток)} = \text{Mg}(\text{OH})_2 \text{ (золь)} \downarrow + \text{Na}_2\text{SO}_4$ .
11.  $\text{FeCl}_2 \text{ (избыток)} + 2\text{NaOH} = \text{Fe}(\text{OH})_2 \text{ (золь)} \downarrow + 2\text{NaCl}$ .
12.  $\text{FeCl}_2 + 2\text{NaOH} \text{ (избыток)} = \text{Fe}(\text{OH})_2 \text{ (золь)} \downarrow + 2\text{NaCl}$ .
13.  $3\text{AgNO}_3 \text{ (избыток)} + \text{H}_3\text{PO}_4 = \text{Ag}_3\text{PO}_4 \text{ (золь)} \downarrow + 3\text{HNO}_3$ .
14.  $2\text{AgNO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ (избыток)} = \text{Ag}_2\text{SO}_4 \text{ (золь)} \downarrow + 2\text{HNO}_3$ .
15.  $\text{CuSO}_4 \text{ (избыток)} + 2\text{NaOH} = \text{Cu}(\text{OH})_2 \text{ (золь)} \downarrow + \text{Na}_2\text{SO}_4$ .

## 11. ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ РЕАКЦИИ

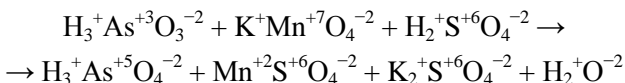
### Типовые задачи и их решения

1. Методом электронного баланса расставьте коэффициенты в схеме окислительно-восстановительной реакции (ОВР):

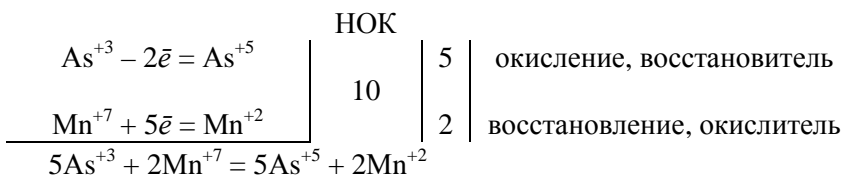


Запишите процессы окисления и восстановления. Определите окислитель и восстановитель.

**Решение.** Расставим степени окисления над всеми элементами в схеме ОВР:



Из схемы следует, что степень окисления мышьяка до реакции была +3, а после реакции стала +5; степень окисления марганца изменилась с +7 на +2. Отражаем эти изменения степеней окисления в электронных уравнениях, исходя из того, что окислитель принимает электроны, а восстановитель их отдает.



Общее число электронов, отданных восстановителем, должно быть равно общему числу электронов, принятых окислителем (электронный баланс). Найдя наименьшее общее кратное (НОК) между числом отданных и принятых электронов (2 и 5), определяем, что молекул восстановителя должно быть 5, а молекул окислителя – 2, т. е. находим соответствующие коэффициенты в схеме реакции перед восстановителем, окислителем и продуктами окисления и восстановления, начиная расставлять их в большинстве случаев с продуктов (правая часть схемы ОВР). Затем уравниваем количество

атомов других элементов в следующем порядке: 1) металлы; 2) неметаллы (кроме водорода и кислорода); 3) водород. Проверяем правильность расстановки коэффициентов, вычисляя количество атомов кислорода в правой и левой частях схемы.

В итоге уравнение будет иметь вид:



2. Методом электронного баланса расставьте коэффициенты в схеме ОВР:

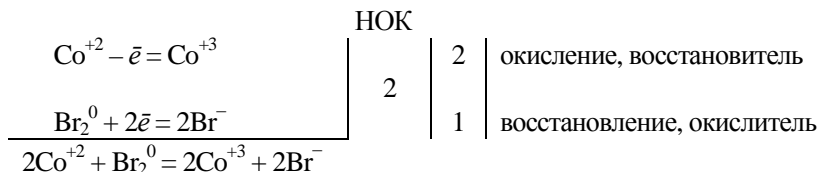


Укажите окислитель и восстановитель. Определите направление протекания реакции при стандартных условиях, рассчитав  $\Delta_r G^\circ_{298}$ , используя стандартные электродные потенциалы электрохимических систем, участвующих в реакции:  $\text{Co}^{+2} - \bar{e} = \text{Co}^{+3}$ ,  $\varphi^\circ = 1,81 \text{ В}$ ;  $\text{Br}_2^0 + 2\bar{e} = 2\text{Br}^-$ ,  $\varphi^\circ = 1,07 \text{ В}$ .

**Решение.** Расставляем степени окисления над элементами в схеме ОВР:



Составляем электронные уравнения:



Расставим коэффициенты, и уравнение будет иметь вид:



Направление протекания реакции зависит от изменения энергии Гиббса  $\Delta_r G^\circ_{298}$  реакции:

$$\Delta_r G^\circ_{298} = -z \cdot F \cdot \Delta\varphi^\circ,$$

где  $z$  – число отданных или принятых электронов,  $z = 2$  (НОК);  
 $F$  – постоянная Фарадея, равная 96500 А·с/моль;  
 $\Delta\varphi^\circ$  – разность потенциалов ОВР, В.

$$\Delta\varphi^\circ = \varphi^\circ_{\text{окислителя}} - \varphi^\circ_{\text{восстановителя}} = 1,07 - 1,81 = -0,74 \text{ В.}$$

Подставляем значения в формулу:

$$\Delta_r G_{298}^\circ = -2 \cdot 96\,500 \cdot (-0,74) = 142\,820 \text{ Дж} = 142,82 \text{ кДж,}$$

т. к.  $\Delta_r G_{298}^\circ > 0$ , то реакция в стандартных условиях не протекает слева направо.

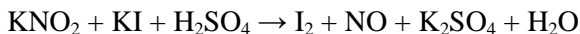
### Задачи I уровня

Используя метод электронного баланса, расставьте коэффициенты в схеме ОВР. Определите окислитель и восстановитель:

1.  $\text{HCl} + \text{CrO}_3 \rightarrow \text{CrCl}_3 + \text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O}$
2.  $\text{FeSO}_4 + \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{H}_2\text{O}$
3.  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{KI} + \text{HCl} \rightarrow \text{I}_2 + \text{CrCl}_3 + \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$
4.  $\text{Cu} + \text{HNO}_3 \text{ (разб.)} \rightarrow \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + \text{N}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$
5.  $\text{H}_2\text{S} + \text{KMnO}_4 + \text{HCl} \rightarrow \text{S} + \text{MnCl}_2 + \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$
6.  $\text{KBr} + \text{FeCl}_3 \rightarrow \text{Br}_2 + \text{FeCl}_2 + \text{KCl}$
7.  $\text{Zn} + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ (конц.)} \rightarrow \text{ZnSO}_4 + \text{S} + \text{H}_2\text{O}$
8.  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{KNO}_3 + \text{KOH} \rightarrow \text{K}_2\text{FeO}_4 + \text{KNO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
9.  $\text{Pb} + \text{HNO}_3 \text{ (конц.)} \rightarrow \text{Pb}(\text{NO}_3)_2 + \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
10.  $\text{Mg} + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ (конц.)} \rightarrow \text{MgSO}_4 + \text{H}_2\text{S} + \text{H}_2\text{O}$
11.  $\text{S} + \text{HNO}_3 \text{ (конц.)} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
12.  $\text{P} + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ (конц.)} \rightarrow \text{H}_3\text{PO}_4 + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
13.  $\text{KCrO}_2 + \text{Br}_2 + \text{KOH} \rightarrow \text{KBr} + \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{O}$
14.  $\text{Cu} + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ (конц.)} \rightarrow \text{CuSO}_4 + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
15.  $\text{NaNO}_2 + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{NaNO}_3 + \text{MnSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$

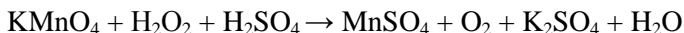
### Задачи II уровня

1. Йод может быть получен по следующей схеме реакции:



Расставьте коэффициенты методом электронного баланса, укажите окислитель и восстановитель. Вычислите массу йода, выделившегося при добавлении в реакционную среду раствора нитрита калия объемом 30 см<sup>3</sup> с молярной концентрацией эквивалента, равной 0,2 моль/дм<sup>3</sup>.

2. Одним из способов получения кислорода в лабораторных условиях является взаимодействие перекиси водорода и перманганата калия по схеме:



Расставьте коэффициенты методом электронного баланса, укажите окислитель и восстановитель. Определите объем выделившегося кислорода (н. у.), если смешали 158 г перманганата калия с 1 дм<sup>3</sup> реакционного раствора перекиси водорода с массовой долей 30 % и плотностью 1,053 г/см<sup>3</sup>.

3. Рассчитайте объем выделившегося хлора (н. у.) в результате взаимодействия 29,2 г дихромата калия и 89,4 г хлорида калия в присутствии азотной кислоты, протекающего по схеме:

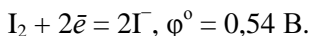
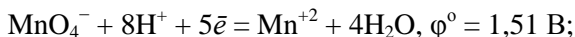


Укажите окислитель и восстановитель.

4. Расставьте коэффициенты в схеме ОВР:



Укажите окислитель и восстановитель. Рассчитайте  $\Delta_r G^\circ_{298}$  и определите направление протекания реакции. Стандартные электродные потенциалы электрохимических полуреакций:

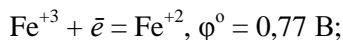


5. Расставьте коэффициенты в схеме ОВР:

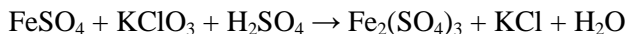




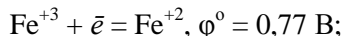
Укажите окислитель и восстановитель. Рассчитайте  $\Delta_r G_{298}^{\circ}$  и определите направление протекания реакции. Стандартные электродные потенциалы электрохимических полуреакций:



6. Расставьте коэффициенты в схеме ОВР:



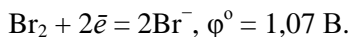
Определите окислитель и восстановитель. Установите направление возможного протекания реакции, рассчитав  $\Delta_r G_{298}^{\circ}$ . Стандартные электродные потенциалы электрохимических полуреакций:



7. Расставьте коэффициенты в схеме ОВР:



Укажите окислитель и восстановитель. Установите направление возможного протекания реакции, рассчитав  $\Delta_r G_{298}^{\circ}$ . Стандартные электродные потенциалы электрохимических полуреакций:

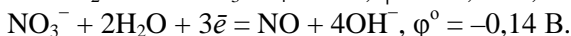


### Контрольные задачи

Для задач 1–27 методом электронного баланса расставьте коэффициенты в схеме ОВР. Укажите окислитель и восстановитель.

1.  $\text{KMnO}_4 + \text{HNO}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{MnSO}_4 + \text{HNO}_3 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
2.  $\text{P} + \text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{PO}_4 + \text{NO}$
3.  $\text{FeSO}_4 + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{MnSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
4.  $\text{HClO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_3 \rightarrow \text{HCl} + \text{H}_2\text{SO}_4$
5.  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{KI} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{I}_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
6.  $\text{AsH}_3 + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{H}_3\text{AsO}_4 + \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
7.  $\text{C} + \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
8.  $\text{H}_2\text{S} + \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{S} + \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
9.  $\text{S} + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{SO}_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{MnSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
10.  $\text{H}_2\text{S} + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{S} + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{MnSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
11.  $\text{KI} + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{I}_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{MnSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
12.  $\text{CuSO}_4 + \text{P} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Cu} + \text{H}_3\text{PO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$
13.  $\text{C} + \text{H}_2\text{SO}_4 (\text{конц.}) \rightarrow \text{CO}_2 + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
14.  $\text{HI} + \text{H}_2\text{SO}_4 (\text{конц.}) \rightarrow \text{I}_2 + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
15.  $\text{Fe}(\text{OH})_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3$
16.  $\text{SO}_2 + \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{NO}$
17.  $\text{Cl}_2 + \text{KOH} \rightarrow \text{KCl} + \text{KClO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
18.  $\text{H}_2\text{S} + \text{HClO} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{HCl}$
19.  $\text{CrCl}_3 + \text{Br}_2 + \text{KOH} \rightarrow \text{K}_2\text{CrO}_4 + \text{KBr} + \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$
20.  $\text{Mg} + \text{HNO}_3 (\text{разб.}) \rightarrow \text{Mg}(\text{NO}_3)_2 + \text{N}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$
21.  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{C} \rightarrow \text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{CO}_4 + \text{CO}_2$
22.  $\text{Zn} + \text{HNO}_3 (\text{разб.}) \rightarrow \text{Zn}(\text{NO}_3)_2 + \text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
23.  $\text{SO}_2 + \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{SO}_4 (\text{конц.}) \rightarrow \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{H}_2\text{O}$
24.  $\text{Na} + \text{H}_2\text{SO}_4 (\text{конц.}) \rightarrow \text{H}_2\text{S} + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
25.  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \rightarrow \text{CuO} + \text{NO}_2 + \text{O}_2$
26.  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + \text{SiO}_2 + \text{C} \rightarrow \text{CaSiO}_3 + \text{P} + \text{CO}$
27.  $\text{FeS}_2 + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$
28. Расставьте коэффициенты в схеме ОВР:  
 $\text{P} + \text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{PO}_4 + \text{NO}$

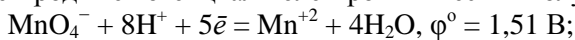
Определите окислитель и восстановитель. Установите направление возможного протекания реакции, рассчитав  $\Delta_r G^\circ_{298}$ . Стандартные электродные потенциалы электрохимических полуреакций:



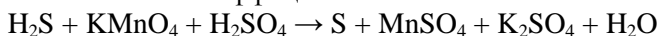
29. Расставьте коэффициенты в схеме ОВР:



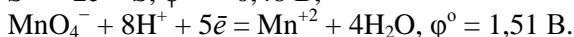
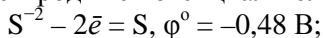
Определите окислитель и восстановитель. Установите направление возможного протекания реакции, рассчитав  $\Delta_r G^{\circ}_{298}$ . Стандартные электродные потенциалы электрохимических полуреакций:



**30.** Расставьте коэффициенты в схеме ОВР:



Определите окислитель и восстановитель. Установите направление возможного протекания реакции, рассчитав  $\Delta_r G^{\circ}_{298}$ . Стандартные электродные потенциалы электрохимических полуреакций:



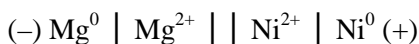
## 12. РЯД НАПРЯЖЕНИЙ МЕТАЛЛОВ. ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

### Типовые задачи и их решения

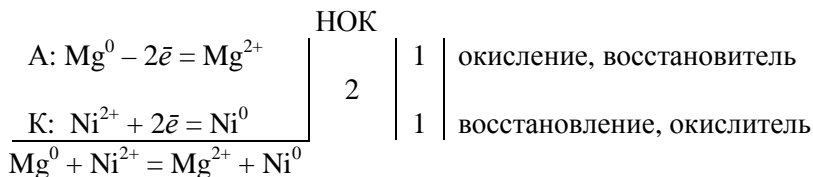
1. Составьте электрохимическую схему гальванического элемента (ГЭ), состоящего из пластинок магния и никеля, опущенных в растворы своих солей при стандартных условиях. Напишите электрохимические уравнения процессов, происходящих на электродах во внутренней цепи, и суммарной токообразующей реакции. Вычислите: а) значение электродвижущей силы ЭДС ГЭ, используя данные табл. 4; б) изменение энергии Гиббса химической реакции  $\Delta_r G^\circ_{298}$  и в) константу равновесия  $K_C$  токообразующей реакции. Сделайте вывод о направлении протекания реакции.

**Решение:** а) по табл. 4 находим значения стандартных электродных потенциалов металлов:  $\varphi^\circ_{\text{Mg}^{2+}/\text{Mg}} = -2,36 \text{ В}$ ;  $\varphi^\circ_{\text{Ni}^{2+}/\text{Ni}} = -0,25 \text{ В}$ . Значение стандартного электродного потенциала магния меньше, чем никеля. Следовательно, магний легче отдает свои электроны, т. е. он является более активным металлом и в гальваническом элементе выступает во внутренней цепи в качестве анода.

Схема ГЭ будет иметь вид (в ионно-молекулярной форме):



На аноде (А) идет процесс окисления – отдачи электронов, а на катоде (К) – процесс восстановления – присоединения электронов. Электрохимические уравнения (уравнения полуреакций окисления и восстановления) процессов, протекающих на электродах (во внутренней цепи ГЭ), и ионно-молекулярное уравнение суммарной токообразующей реакции записываются в следующем виде:



Суммарное молекулярное уравнение токообразующей реакции:

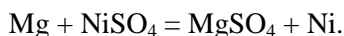


Таблица 4

Ряд напряжений металлов

Электролит/металл	$\varphi^0$ , В	Электролит/металл	$\varphi^0$ , В
Li <sup>+</sup> /Li	-3,04	Co <sup>2+</sup> /Co	-0,28
K <sup>+</sup> /K	-2,93	Ni <sup>2+</sup> /Ni	-0,25
Cs <sup>+</sup> /Cs	-2,92	Mo <sup>3+</sup> /Mo	-0,20
Ba <sup>2+</sup> /Ba	-2,91	Sn <sup>2+</sup> /Sn	-0,14
Ca <sup>2+</sup> /Ca	-2,87	Pb <sup>2+</sup> /Pb	-0,13
Na <sup>+</sup> /Na	-2,71	Fe <sup>3+</sup> /Fe	-0,04
Mg <sup>2+</sup> /Mg	-2,36	2H <sup>+</sup> /H <sub>2</sub>	0,000
Sc <sup>3+</sup> /Sc	-2,08	Bi <sup>3+</sup> /Bi	0,22
Be <sup>2+</sup> /Be	-1,85	Re <sup>3+</sup> /Re	0,30
Al <sup>3+</sup> /Al	-1,66	Co <sup>3+</sup> /Co	0,33
Ti <sup>2+</sup> /Ti	-1,63	Cu <sup>2+</sup> /Cu	0,34
Mn <sup>2+</sup> /Mn	-1,18	Hg <sub>2</sub> <sup>2+</sup> /2Hg	0,79
Nb <sup>3+</sup> /Nb	-1,10	Ag <sup>+</sup> /Ag	0,80
Cr <sup>2+</sup> /Cr	-0,91	Os <sup>2+</sup> /Os	0,85
Zn <sup>2+</sup> /Zn	-0,76	Hg <sup>2+</sup> /Hg	0,85
Cr <sup>3+</sup> /Cr	-0,74	Pd <sup>2+</sup> /Pd	0,99
Ga <sup>3+</sup> /Ga	-0,53	Pt <sup>2+</sup> /Pt	1,19
Fe <sup>2+</sup> /Fe	-0,44	Au <sup>3+</sup> /Au	1,50
Cd <sup>2+</sup> /Cd	-0,40	Au <sup>+</sup> /Au	1,70

При работе ГЭ электроны от магниевого электрода перемещаются по внешней цепи к никелевому электроду. В растворе (во внутренней цепи) наблюдается движение анионов SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> в обратном направлении (от никелевого к магниевого электроду).

ЭДС ГЭ определяется по разности значений стандартных электродных потенциалов:

$$\Delta\varphi^0 = \varphi^0_{\text{катода}} - \varphi^0_{\text{анода}}.$$

Подставляем значения и вычисляем ЭДС ГЭ при стандартных условиях:

$$\Delta\varphi^{\circ} = (-0,25) - (-2,36) = 2,11 \text{ В};$$

б) рассчитаем изменение энергии Гиббса  $\Delta_r G^{\circ}_{298}$  реакции по формуле

$$\Delta_r G^{\circ}_{298} = -z \cdot F \cdot \Delta\varphi^{\circ},$$

где  $z$  – НОК между числом отданных и принятых электронов;  
 $F$  – постоянная Фарадея, равная 96 500 А·с/моль.

Подставляем значения:

$$\Delta_r G^{\circ}_{298} = -2 \cdot 96\,500 \cdot 2,11 = -407\,230 \text{ Дж} = -407,23 \text{ кДж}.$$

Отрицательное значение  $\Delta_r G^{\circ}_{298}$  свидетельствует о возможности протекания суммарной токообразующей реакции в ГЭ.

в) вычисляем константу равновесия  $K_C$  токообразующей реакции, используя формулу

$$\Delta_r G^{\circ}_{298} = -R \cdot T \cdot \ln K_C = -R \cdot T \cdot 2,303 \cdot \lg K_C = -5,71 \cdot \lg K_C, \text{ кДж}.$$

Откуда  $\lg K_C = -\Delta_r G^{\circ}_{298} / 5,71 = -(-407,23) / 5,71 = 71$ , тогда  $K_C = 10^{71}$ .

Поскольку константа равновесия показывает, во сколько раз скорость прямой реакции превышает скорость обратной реакции, то равновесие в токообразующей реакции сильно смещено вправо.

**Ответ:**  $\Delta\varphi^{\circ} = 2,11 \text{ В}; \Delta_r G^{\circ}_{298} = -407,23 \text{ кДж}; K_C = 10^{71}$ .

2. Вычислите ЭДС ГЭ, состоящего из хромового электрода, погруженного в водный раствор  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ , с молярной концентрацией, равной 0,001 моль/дм<sup>3</sup>, и водородного электрода, опущенного в раствор  $\text{H}_2\text{SO}_4$  с  $\text{pH} = 3$ . Составьте схему ГЭ и напишите электрохимические уравнения процессов, происходящих на электродах

во внутренней цепи и молекулярное суммарное уравнение токообразующей реакции.

**Решение.** По табл. 4 находим значения стандартных электродных потенциалов водорода и хрома (III):

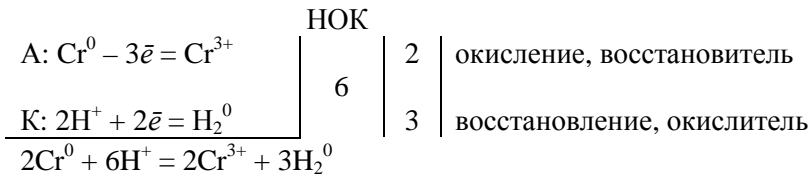
$$\phi^{\circ}_{2H^+/H_2} = 0 \text{ В}; \phi^{\circ}_{Cr^{3+}/Cr} = -0,74 \text{ В}.$$

Хром имеет меньшее значение стандартного электродного потенциала, следовательно, он будет во внутренней цепи анодом.

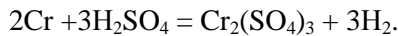
Схема гальванического элемента:



Электрохимические уравнения процессов, протекающих на электродах (во внутренней цепи ГЭ), и ионно-молекулярное уравнение суммарной токообразующей реакции записываются в следующем виде:



Суммарное молекулярное уравнение токообразующей реакции:



Определяем равновесные электродные потенциалы, используя формулу Нернста:

$$\phi = \phi^{\circ} + \frac{0,059}{n} \lg [Me^{n+}],$$

где  $\phi^{\circ}$  – стандартный электродный потенциал, В;

$n$  – количество отданных или принятых электронов;

$[Me^{n+}]$  – молярная концентрация ионов металла в растворе, моль/дм<sup>3</sup>.

Равновесный потенциал для хромового электрода:

$$\varphi_{\text{Cr}^{3+}/\text{Cr}} = \varphi_{\text{Cr}^{3+}/\text{Cr}}^0 + (0,059 / 3) \cdot \lg 10^{-3} = -0,74 - 0,059 = -0,799 \text{ В.}$$

Равновесный потенциал водородного электрода принимает вид:

$$\varphi = \varphi_{2\text{H}^+/\text{H}_2}^0 + \frac{0,059}{n} \lg[\text{H}^+]$$

Учитывая, что  $\text{pH} = -\lg[\text{H}^+]$ , окончательный вид формулы выглядит так:

$$\varphi = -0,059 \cdot \text{pH.}$$

Для данного случая  $\varphi_{2\text{H}^+/\text{H}_2} = -0,059 \cdot 3 = -0,177 \text{ В.}$

Тогда ЭДС ГЭ будет равна

$$\Delta\varphi = \varphi_{\text{катода}} - \varphi_{\text{анода}} = \varphi_{2\text{H}^+/\text{H}_2} - \varphi_{\text{Cr}^{3+}/\text{Cr}} = -0,177 - (-0,799) = 0,622 \text{ В.}$$

**Ответ:**  $\Delta\varphi = 0,622 \text{ В.}$

### Задачи I уровня

**1.** Составьте электрохимическую схему ГЭ, в котором никель служил бы анодом во внутренней цепи. Напишите уравнения электродных процессов и суммарной токообразующей реакции. Вычислите значение ЭДС ГЭ.

**2.** Составьте электрохимическую схему ГЭ, состоящего из цинковой пластинки, погруженной в раствор сульфата цинка  $\text{ZnSO}_4$ , и стандартного водородного электрода. Напишите уравнения электродных процессов и суммарной токообразующей реакции. Вычислите значение ЭДС ГЭ.

**3.** Составьте электрохимическую схему ГЭ, в котором олово служило бы катодом во внутренней цепи. Напишите уравнения электродных процессов и суммарной токообразующей реакции. Вычислите значение ЭДС ГЭ.



4. Составьте электрохимическую схему ГЭ, в котором протекает суммарная токообразующая реакция  $\text{Fe} + \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 = \text{Cu} + \text{Fe}(\text{NO}_3)_2$ . Напишите уравнения электродных процессов. Вычислите значение ЭДС ГЭ.

5. Составьте электрохимическую схему ГЭ, состоящего из хромового и медного электродов. Напишите уравнения электродных процессов и суммарной токообразующей реакции. Вычислите значение ЭДС ГЭ.

6. Составьте электрохимическую схему ГЭ, в котором протекает суммарная токообразующая реакция  $\text{Mg} + \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 = \text{Cu} + \text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ . Напишите уравнения электродных процессов. Вычислите значение ЭДС ГЭ.

7. Составьте электрохимическую схему ГЭ, в котором протекает суммарная токообразующая реакция  $2\text{Al} + 3\text{NiSO}_4 = 3\text{Ni} + \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ . Напишите уравнения электродных процессов. Вычислите значение ЭДС ГЭ.

8. Составьте электрохимическую схему ГЭ, в котором протекает суммарная токообразующая реакция  $\text{Mn} + \text{ZnCl}_2 = \text{Zn} + \text{MnCl}_2$ . Напишите уравнения электродных процессов. Вычислите значение ЭДС ГЭ.

9. Составьте электрохимическую схему ГЭ, в котором протекает суммарная токообразующая реакция  $\text{Cr} + \text{Sn}(\text{NO}_3)_2 = \text{Sn} + \text{Cr}(\text{NO}_3)_2$ . Напишите уравнения электродных процессов. Вычислите значение ЭДС ГЭ.

10. Составьте электрохимическую схему ГЭ, в котором протекает суммарная токообразующая реакция  $\text{Ni} + \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 = \text{Cu} + \text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ . Напишите уравнения электродных процессов. Вычислите значение ЭДС ГЭ.

11. Составьте электрохимическую схему ГЭ, в котором протекает суммарная токообразующая реакция:  $\text{Zn} + \text{NiSO}_4 = \text{Ni} + \text{ZnSO}_4$ . Напишите уравнения электродных процессов. Вычислите значение ЭДС ГЭ.

12. Составьте электрохимическую схему ГЭ, в котором кадмий служил бы анодом во внутренней цепи. Напишите уравнения электродных процессов и суммарной токообразующей реакции. Вычислите значение ЭДС ГЭ.

13. Составьте электрохимическую схему ГЭ, в котором протекает суммарная токообразующая реакция  $\text{Zn} + 2\text{AgNO}_3 = 2\text{Ag} + \text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ . Напишите уравнения электродных процессов. Вычислите значение ЭДС ГЭ.

14. Составьте электрохимическую схему ГЭ, в котором протекает суммарная токообразующая реакция:  $\text{Mg} + 2\text{AgNO}_3 = \text{Mg}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{Ag}$ . Напишите уравнения электродных процессов и суммарной токообразующей реакции. Вычислите значение ЭДС ГЭ.

15. Составьте электрохимическую схему ГЭ, в котором медь служила бы анодом во внутренней цепи. Напишите уравнения электродных процессов и суммарной токообразующей реакции. Вычислите значение ЭДС ГЭ.

### Задачи II уровня

1. Составьте схему ГЭ, в котором протекает реакция  $\text{Sn}^{2+} + \text{H}_2 = \text{Sn} + 2\text{H}^+$ . Определите pH раствора электролита водородного электрода, если оловянный электрод стандартный, а ЭДС элемента равна 0,1 В. Рассчитайте значения  $\Delta_r G^{\circ}_{298}$  электрохимической реакции и константу равновесия  $K_C$ .

2. Рассчитайте, при какой концентрации ионов олова  $\text{Sn}^{2+}$  потенциал оловянного электрода будет меньше потенциала стандартного никелевого электрода. Составьте схему ГЭ, отвечающую условиям задачи, и уравнения анодно-катодных процессов. Как изменится схема элемента и уравнения электродных процессов, если оба электрода будут стандартными?

3. Исходя из величин стандартных электродных потенциалов, рассчитайте значения ЭДС ГЭ и  $\Delta_r G^{\circ}_{298}$  и определите, будет ли работать ГЭ, в котором на электродах протекают реакции:  $\text{Hg}^0 - 2\bar{e} = \text{Hg}^{2+}$ ;  $\text{Pb}^{2+} + 2\bar{e} = \text{Pb}^0$ .

4. Составьте электрохимическую схему ГЭ, в котором протекает суммарная токообразующая реакция:  $\text{Fe} + \text{Ni}^{2+} = \text{Fe}^{2+} + \text{Ni}$ . Напишите уравнения электродных процессов. Рассчитайте значение ЭДС ГЭ, используя стандартные энергии Гиббса образования ионов:  $\Delta_f G^{\circ}_{298}(\text{Ni}^{2+}) = -42,2$  кДж/моль;  $\Delta_f G^{\circ}_{298}(\text{Fe}^{2+}) = -78,9$  кДж/моль.

5. Составьте электрохимическую схему ГЭ, в котором протекает реакция:  $2\text{Cr} + 3\text{Cu}^{2+} = 2\text{Cr}^{3+} + 3\text{Cu}$ . Напишите уравнения электродных процессов. Значение ЭДС ГЭ равно 1,08 В. Рассчитайте изменение стандартной энергии Гиббса химической реакции  $\Delta_r G^{\circ}_{298}$ , происходящей в ГЭ.

## Контрольные задачи

1. Составьте схему ГЭ, в котором протекает токообразующая реакция:  $\text{Cu} + 2\text{AgNO}_3 = \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{Ag}$ . Запишите электрохимические уравнения процессов, протекающих на электродах. Определите значение ЭДС ГЭ (используйте данные табл. 4),  $\Delta_r G^{\circ}_{298}$  и константу равновесия  $K_C$  токообразующей реакции. Сделайте вывод о направлении протекания реакции.

2. Составьте схему ГЭ, состоящего из магниевой и железной пластинок, опущенных в раствор сульфата магния с молярной концентрацией  $C(\text{MgSO}_4)$ , равной  $0,1 \text{ моль/дм}^3$ , и раствор сульфата железа (II) с молярной концентрацией  $C(\text{FeSO}_4)$ , равной  $1 \text{ моль/дм}^3$ , соответственно. Определите ЭДС ГЭ (используйте данные табл. 4). Запишите уравнения электродных процессов и суммарную токообразующую реакцию.

3. Составьте схему ГЭ, состоящего из алюминиевого и хромового электродов, опущенных в раствор хлорида алюминия с молярной концентрацией  $C(\text{AlCl}_3)$ , равной  $0,001 \text{ моль/дм}^3$  и раствор хлорида хрома (III) с молярной концентрацией  $C(\text{CrCl}_3)$ , равной  $1 \text{ моль/дм}^3$ , соответственно. Запишите электрохимические уравнения процессов, протекающих на электродах. Определите значение ЭДС ГЭ (используйте данные табл. 4).

4. Составьте схему ГЭ, в котором протекает токообразующая реакция:  $\text{Ni} + \text{SnCl}_2 = \text{NiCl}_2 + \text{Sn}$ . Напишите уравнения электродных процессов. Определите значение ЭДС ГЭ (используйте данные табл. 4),  $\Delta_r G^{\circ}_{298}$  и константу равновесия  $K_C$  токообразующей реакции. Сделайте вывод о направлении протекания реакции.

5. Составьте схему ГЭ, в котором никель являлся бы анодом во внутренней цепи. Напишите уравнения электродных процессов. Определите значение ЭДС ГЭ (используйте данные табл. 4),  $\Delta_r G^{\circ}_{298}$  и константу равновесия  $K_C$  токообразующей реакции. Сделайте вывод о направлении протекания реакции.

6. Составьте схему ГЭ, в котором имеются следующие компоненты: медь; раствор сульфата меди (II) с молярной концентрацией  $C(\text{CuSO}_4)$ , равной  $1 \text{ моль/дм}^3$ ; раствор сульфата никеля (II) с молярной концентрацией  $C(\text{NiSO}_4)$ , равной  $0,01 \text{ моль/дм}^3$ ; никель. Напишите уравнения электродных процессов. Определите значение ЭДС ГЭ (используйте данные табл. 4).

7. Составьте схему ГЭ, образованного кадмиевым электродом, погруженным в раствор сульфата кадмия (II) с молярной концентрацией  $C(\text{CdSO}_4)$ , равной  $0,01 \text{ моль/дм}^3$ , и медным электродом, опущенным в раствор сульфата меди (II) с молярной концентрацией  $C(\text{CuSO}_4)$ , равной  $0,1 \text{ моль/дм}^3$ . Запишите уравнения электродных процессов. Определите значение ЭДС ГЭ (используйте данные табл. 4).

8. При работе ГЭ протекает токообразующая реакция:  $\text{Zn} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{ZnSO}_4 + \text{H}_2$ . Составьте схему ГЭ, запишите уравнения электродных процессов. Определите значение ЭДС ГЭ (используйте данные табл. 4),  $\Delta_r G^\circ_{298}$  и константу равновесия  $K_C$  токообразующей реакции. Сделайте вывод о направлении протекания реакции.

9. Составьте схему ГЭ, состоящего из следующих компонентов: никель; серебро; раствор нитрата никеля (II) с молярной концентрацией  $C(\text{Ni}(\text{NO}_3)_2) = 0,01 \text{ моль/дм}^3$  и раствор нитрата серебра с молярной концентрацией  $C(\text{AgNO}_3) = 0,1 \text{ моль/дм}^3$ . Запишите уравнения электродных процессов. Определите значение ЭДС ГЭ (используйте данные табл. 4).

10. Составьте схему ГЭ, состоящего из цинкового электрода, опущенного в раствор сульфата цинка с молярной концентрацией  $C(\text{ZnSO}_4)$ , равной  $0,01 \text{ моль/дм}^3$ , и никелевого электрода, погруженного в раствор сульфата никеля (II) с молярной концентрацией  $C(\text{NiSO}_4)$ , равной  $0,1 \text{ моль/дм}^3$ . Напишите уравнения электродных процессов. Определите значение ЭДС ГЭ (используйте данные табл. 4).

11. Имеется ГЭ, состоящий из следующих компонентов: платина (Pt), водород ( $\text{H}_2$ ); раствор серной кислоты с  $\text{pH} = 5$ ; раствор сульфата марганца (II) с молярной концентрацией  $C(\text{MnSO}_4)$ , равной  $0,01 \text{ моль/дм}^3$ ; марганец. Определите электродные потенциалы каждого полуэлемента при указанных концентрациях электролитов, катод и анод во внешней цепи данного гальванического элемента. Напишите уравнения электродных процессов и рассчитайте ЭДС ГЭ (используйте данные табл. 4).

12. Составьте схему ГЭ, состоящего из водородного электрода, опущенного в раствор серной кислоты с молярной концентрацией  $C(\text{H}_2\text{SO}_4)$ , равной  $0,01 \text{ моль/дм}^3$ , и кобальтового электрода, опущенного в раствор сульфата кобальта (II) с молярной концентрацией  $C(\text{CoSO}_4)$ , равной  $1 \text{ моль/дм}^3$ . Запишите уравнения процессов, протекающих на электродах. Определите значение ЭДС ГЭ (используйте данные табл. 4).

**13.** Составьте схему ГЭ, состоящего из магниевых электрода, опущенного в раствор сульфата магния (II) с молярной концентрацией  $C(\text{MgSO}_4)$ , равной  $0,1 \text{ моль/дм}^3$ , и кадмиевой пластины, опущенной в раствор сульфата кадмия (II) с молярной концентрацией  $C(\text{CdSO}_4)$ , равной  $0,01 \text{ моль/дм}^3$ . Запишите уравнения электродных процессов. Определите значение ЭДС ГЭ (используйте данные табл. 4).

**14.** Составьте схему ГЭ, состоящего из следующих компонентов: цинк; свинец; раствор нитрата цинка с молярной концентрацией  $C(\text{Zn}(\text{NO}_3)_2)$ , равной  $1 \text{ моль/дм}^3$ , и раствор нитрата свинца (II) с молярной концентрацией  $C(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2)$ , равной  $0,01 \text{ моль/дм}^3$ . Запишите уравнения электродных процессов и суммарной токообразующей реакции. Определите значение ЭДС ГЭ (используйте данные табл. 4).

**15.** Составьте схему ГЭ, в котором никель является катодом во внутренней цепи. Запишите уравнения электродных процессов и суммарной токообразующей реакции. Рассчитайте значение ЭДС ГЭ (используйте данные табл. 4),  $\Delta_r G^\circ_{298}$  и константу равновесия  $K_C$  токообразующей реакции. Сделайте вывод о направлении протекания реакции.

**16.** Составьте схему ГЭ, состоящего из водородного электрода, погруженного в раствор серной кислоты  $\text{H}_2\text{SO}_4$  с  $\text{pH} = 4$ , и марганцевого электрода, находящегося в растворе сульфата марганца (II) с молярной концентрацией  $C(\text{MnSO}_4)$ , равной  $0,1 \text{ моль/дм}^3$ . Запишите уравнения электродных процессов, и суммарной токообразующей реакции. Определите значение ЭДС ГЭ (используйте данные табл. 4).

**17.** При работе ГЭ протекает токообразующая реакция:  $\text{Ni} + 2\text{AgNO}_3 = \text{Ni}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{Ag}$ . Составьте схему ГЭ. Запишите уравнения электродных процессов. Определите значение ЭДС ГЭ (используйте данные табл. 4),  $\Delta_r G^\circ_{298}$  и константу равновесия  $K_C$  токообразующей реакции. Сделайте вывод о направлении протекания реакции.

**18.** Составьте схему ГЭ, состоящего из магниевых электрода, опущенного в раствор хлорида магния с молярной концентрацией  $C(\text{MgCl}_2)$ , равной  $0,1 \text{ моль/дм}^3$ , и оловянного электрода, погруженного в раствор хлорида олова (II) с молярной концентрацией  $C(\text{SnCl}_2)$ , равной  $0,01 \text{ моль/дм}^3$ . Запишите уравнения электродных процессов

и суммарной токообразующей реакции. Определите значение ЭДС ГЭ (используйте данные табл. 4).

**19.** При работе ГЭ протекает токообразующая реакция:  $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 + \text{Al} = \text{Al}(\text{NO}_3)_3 + \text{Bi}$ . Составьте схему ГЭ. Запишите уравнения электродных процессов. Определите значение ЭДС ГЭ (используйте данные табл. 4),  $\Delta_r G^\circ_{298}$  и константу равновесия  $K_C$  токообразующей реакции. Сделайте вывод о направлении протекания реакции.

**20.** Составьте схему ГЭ, состоящего из никелевого электрода, погруженного в раствор сульфата никеля (II) с молярной концентрацией  $C(\text{NiSO}_4)$ , равной  $0,001 \text{ моль/дм}^3$ , и медного электрода, погруженного в раствор сульфата меди (II) с молярной концентрацией  $C(\text{CuSO}_4)$ , равной  $0,01 \text{ моль/дм}^3$ . Напишите уравнения электродных процессов. Определите значение ЭДС ГЭ (используйте данные табл. 4).

**21.** При работе ГЭ протекает токообразующая реакция:  $2\text{AgNO}_3 + \text{Ni} = \text{Ni}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{Ag}$ . Составьте схему ГЭ. Запишите уравнения электродных процессов. Определите значение ЭДС ГЭ (используйте данные табл. 4),  $\Delta_r G^\circ_{298}$  и константу равновесия  $K_C$  токообразующей реакции. Сделайте вывод о направлении протекания реакции.

**22.** При работе ГЭ протекает токообразующая реакция:  $3\text{AgNO}_3 + \text{Al} = \text{Al}(\text{NO}_3)_3 + 3\text{Ag}$ . Составьте схему ГЭ. Запишите уравнения электродных процессов. Определите значение ЭДС ГЭ (используйте данные табл. 4),  $\Delta_r G^\circ_{298}$  и константу равновесия  $K_C$  токообразующей реакции. Сделайте вывод о направлении протекания реакции.

**23.** Составьте электрохимическую схему ГЭ, состоящего из магниевого электрода, погруженного в раствор сульфата магния (II) с молярной концентрацией  $C(\text{MgSO}_4)$ , равной  $1 \text{ моль/дм}^3$ , и никелевого электрода, погруженного в раствор сульфата никеля (II) с молярной концентрацией  $C(\text{NiSO}_4)$ , равной  $0,01 \text{ моль/дм}^3$ . Рассчитайте значение ЭДС ГЭ, напишите уравнения электродных процессов и суммарной токообразующей реакции.

**24.** Составьте схему ГЭ, в котором протекает токообразующая реакция:  $\text{Mn} + \text{CuSO}_4 = \text{MnSO}_4 + \text{Cu}$ . Запишите уравнения электродных процессов. Определите значение ЭДС ГЭ (используйте

данные табл. 4),  $\Delta_r G_{298}^{\circ}$  и константу равновесия  $K_C$  токообразующей реакции. Сделайте вывод о направлении протекания реакции.

**25.** Составьте электрохимическую схему ГЭ, состоящего из цинкового электрода, погруженного в раствор хлорида цинка (II) с молярной концентрацией  $C(\text{ZnCl}_2)$ , равной 1 моль/дм<sup>3</sup>, и хромового электрода, погруженного в раствор хлорида хрома (III) с молярной концентрацией  $C(\text{CrCl}_3)$ , равной 0,001 моль/дм<sup>3</sup>. Рассчитайте значение ЭДС ГЭ, напишите уравнения электродных процессов и суммарной токообразующей реакции.

**26.** Составьте схему ГЭ, в котором протекает токообразующая реакция:  $\text{Mg} + \text{CoSO}_4 = \text{MgSO}_4 + \text{Co}$ . Запишите уравнения электродных процессов. Определите значение ЭДС ГЭ (используйте данные табл. 4),  $\Delta_r G_{298}^{\circ}$  и константу равновесия  $K_C$  токообразующей реакции. Сделайте вывод о направлении протекания реакции.

**27.** Составьте схему ГЭ, в котором протекает токообразующая реакция:  $\text{Ni} + \text{CuSO}_4 = \text{NiSO}_4 + \text{Cu}$ . Запишите уравнения электродных процессов. Определите значение ЭДС ГЭ (используйте данные табл. 4),  $\Delta_r G_{298}^{\circ}$  и константу равновесия  $K_C$  токообразующей реакции. Сделайте вывод о направлении протекания реакции.

**28.** Составьте электрохимическую схему ГЭ, состоящего из медного электрода, погруженного в раствор сульфата меди (II) с молярной концентрацией  $C(\text{CuSO}_4)$ , равной 0,1 моль/дм<sup>3</sup>, и никелевого электрода, погруженного в раствор сульфата никеля (II) с молярной концентрацией  $C(\text{NiSO}_4)$ , равной 0,0001 моль/дм<sup>3</sup>. Рассчитайте значение ЭДС ГЭ, напишите уравнения электродных процессов и суммарной токообразующей реакции.

**29.** При работе ГЭ протекает токообразующая реакция:  $3\text{Mg} + \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 = 3\text{MgSO}_4 + 2\text{Cr}$ . Составьте схему ГЭ. Запишите уравнения электродных процессов. Определите значение ЭДС ГЭ (используйте данные табл. 4),  $\Delta_r G_{298}^{\circ}$  и константу равновесия  $K_C$  токообразующей реакции. Сделайте вывод о направлении протекания реакции.

**30.** При работе ГЭ протекает токообразующая реакция:  $2\text{Al} + 3\text{NiSO}_4 = \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + 3\text{Ni}$ . Составьте схему ГЭ. Запишите уравнения электродных процессов. Определите значение ЭДС ГЭ (используйте данные табл. 4),  $\Delta_r G_{298}^{\circ}$  и константу равновесия  $K_C$  токообразующей реакции. Сделайте вывод о направлении протекания реакции.

### 13. КОРРОЗИЯ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

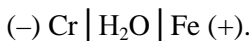
#### Типовые задачи и их решения

1. Составьте схему коррозионного гальванического элемента (ГЭ), возникающего при повреждении хромированного стального провода в нейтральной среде ( $H_2O$ ). Напишите уравнения электродных процессов. Каков характер покрытия (анодный или катодный)?

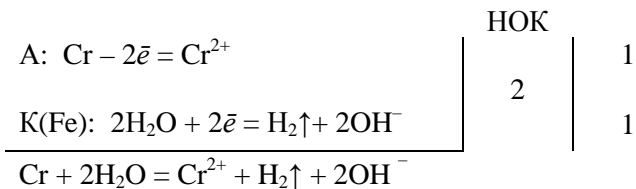
**Решение.** При контакте двух металлов возникает коррозионный ГЭ. По табл. 4 находим значения стандартных электродных потенциалов железа и хрома:  $\varphi^{\circ}_{Fe^{2+}/Fe} = -0,44$  В;  $\varphi^{\circ}_{Cr^{2+}/Cr} = -0,91$  В.

Так как  $\varphi^{\circ}_{Cr^{2+}/Cr} < \varphi^{\circ}_{Fe^{2+}/Fe}$ , то анодом коррозионного ГЭ будет хром, т. е. он будет подвергаться коррозии (окисляться).

Составляем схему коррозионного ГЭ в нейтральной среде ( $H_2O$ ):



Атомы хрома, как атомы более активного металла, окисляются, отдавая свои электроны, и переходят в коррозионную среду в виде катионов  $Cr^{2+}$ , а на железе, являющемся катодом, происходит восстановление молекул воды (водородная деполаризация). Уравнения катодного и анодного процессов, а также суммарной реакции коррозии в ионно-молекулярной форме имеют следующий вид:



Суммарная реакция процесса коррозии в молекулярной форме:



Характер покрытия – анодный, поскольку хром в гальваническом элементе выступает в качестве анода.

2. Составьте схему коррозионного ГЭ, образующегося при контакте железа с медью: а) в кислой среде ( $H^+$ ) (например, раствор



серной кислоты); б) в кислой среде с доступом кислорода ( $H^+ + O_2$ ); в) в атмосферных условиях ( $H_2O + O_2$ ). Напишите уравнения электродных процессов и суммарной реакции процесса коррозии.

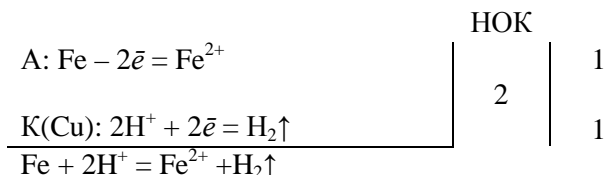
**Решение.** При контакте двух металлов возникает коррозионный ГЭ. По табл. 4 находим значения стандартных электродных потенциалов железа и меди:  $\varphi_{Fe^{2+}/Fe}^0 = -0,44$  В;  $\varphi_{Cu^{2+}/Cu}^0 = +0,34$  В.

Так как  $\varphi_{Fe^{2+}/Fe}^0 < \varphi_{Cu^{2+}/Cu}^0$ , то анодом коррозионного ГЭ будет железо, т. е. оно будет подвергаться коррозии (окисляться).

а) составляем схему коррозионного ГЭ в кислой среде ( $H^+$ ):

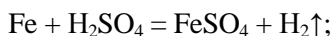


Атомы железа, как атомы более активного металла, окисляются, отдавая свои электроны, и переходят в коррозионную среду в виде катионов  $Fe^{2+}$ , а на меди, являющейся катодом, происходит восстановление катионов водорода  $H^+$  из раствора кислоты (водородная деполяризация). Уравнения катодного и анодного процессов, суммарной реакции коррозионного процесса в ионно-молекулярной форме имеют следующий вид:

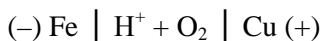


В результате железо подвергается коррозии, а на меди выделяется газообразный водород.

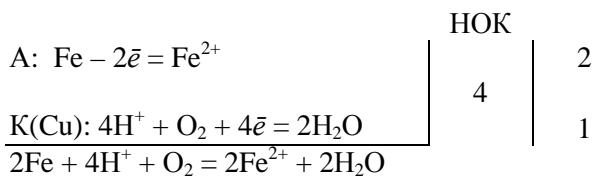
Суммарная реакция процесса коррозии в молекулярной форме:



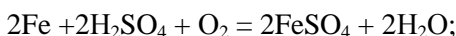
б) составляем схему коррозионного ГЭ в кислой среде с доступом кислорода ( $H^+ + O_2$ ):



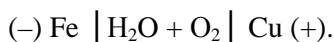
Составляем уравнения электродных процессов коррозии и суммарной реакции коррозии в ионно-молекулярной форме:



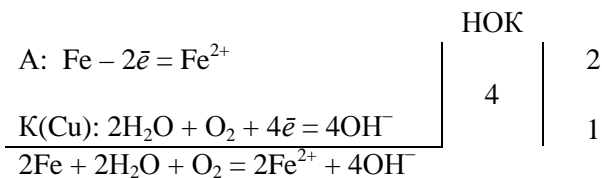
Суммарное уравнение реакции в молекулярной форме:



в) составляем схему коррозионного ГЭ в атмосферных условиях ( $\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$ ):



Составляем уравнения электродных процессов и суммарного уравнения реакции в ионно-молекулярной форме



В молекулярной форме:



Под влиянием кислорода воздуха происходит дальнейшее окисление гидроксида железа (II) в гидроксид железа (III) –  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , который, в свою очередь, дегидратируется с образованием оксида-гидроксида железа (III) –  $\text{FeOOH}$  (бурая ржавчина).

**3.** Составьте схему коррозионного ГЭ, возникающего при повреждении никелерованной железной пластины площадью  $20 \text{ см}^2$  в растворе соляной кислоты  $\text{HCl}$ . Напишите уравнения электродных процессов и суммарной реакции процесса коррозии. Вычислите: а) объемный и весовой показатели коррозии, если за 40 мин в процессе коррозии выделилось  $0,5 \text{ см}^3$  газа (н. у.); б) весовой и глубинный показатели коррозии, если за 2 ч потеря массы железной пластины составила  $3,7 \cdot 10^{-3} \text{ г}$ . Плотность железа равна  $7,9 \text{ г/см}^3$ .

**Дано:**

$$S = 20 \text{ см}^2$$

$$\tau_1 = 40 \text{ мин}$$

$$V = 0,5 \text{ см}^3$$

$$\tau_2 = 2 \text{ ч}$$

$$\Delta m(\text{Fe}) = 3,7 \cdot 10^{-3} \text{ г}$$

$$\rho(\text{Fe}) = 7,9 \text{ г/см}^3$$

$$K_V - ?$$

$$K_m - ?$$

$$П - ?$$

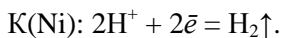
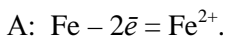
**Решение**

По табл. 4 находим значения стандартных электродных потенциалов железа и никеля:  $\varphi^{\circ}_{\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}} = -0,44 \text{ В}$ ;  $\varphi^{\circ}_{\text{Ni}^{2+}/\text{Ni}} = -0,25 \text{ В}$ . Так как  $\varphi^{\circ}_{\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}} < \varphi^{\circ}_{\text{Ni}^{2+}/\text{Ni}}$ , то анодом коррозионного ГЭ будет железо.

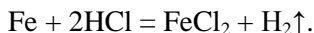
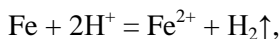
Запишем схему коррозионного ГЭ:



Составим уравнения электродных процессов:



и суммарные реакции процесса коррозии в ионно-молекулярной и молекулярной формах:



а) рассчитаем объемный показатель коррозии  $K_V$  по формуле

$$K_V = \frac{V}{S \cdot \tau_1},$$

где  $V$  – объем выделившегося газа,  $\text{см}^3$ ;

$S$  – площадь поверхности корродируемого металла,  $\text{м}^2$ ;

$\tau_1$  – время процесса коррозии, ч.

Подставляем значения в формулу

$$K_V = \frac{0,5}{20 \cdot 10^{-4} \cdot (40 / 60)} = 375 \text{ см}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{ч})$$

Рассчитываем весовой показатель коррозии  $K_m$  по формуле

$$K_m = \frac{M_{\text{Э}}(\text{Me}) \cdot K_v}{V_{\text{Э}}(\Gamma)},$$

где  $M_{\text{Э}}(\text{Me})$  – молярная масса эквивалента металла, г/моль;  
 $V_{\text{Э}}(\Gamma)$  – молярный объем эквивалента газа (н. у.), см<sup>3</sup>/моль.

На катоде выделяется водород, для которого

$$V_{\text{Э}}(\text{H}_2) = 22\,400 / 2 = 11\,200 \text{ см}^3/\text{моль}, \text{ т. к.}$$

$$V_{\text{Э}}(\text{X}) = \frac{V_m(\text{X})}{Z},$$

где  $V_m(\text{X})$  – молярный объем газообразного вещества, см<sup>3</sup>/моль;  
 $Z$  – количество электронов, участвующих в процессе восстановления.

$$M_{\text{Э}}(\text{Fe}) = M(\text{Fe}) / 2 = 56 / 2 = 28 \text{ г/моль.}$$

Подставляем значения:

$$K_m = \frac{28 \cdot 375}{11200} = 0,94 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч});$$

б) рассчитываем весовой показатель коррозии  $K_m$  по формуле

$$K_m = \frac{\Delta m(\text{Me})}{S \cdot \tau_2}.$$

Подставляем в формулу численные значения:

$$K_m = \frac{3,7 \cdot 10^{-3}}{20 \cdot 10^{-4} \cdot 2} = 0,925 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}).$$

Рассчитываем глубинный показатель коррозии  $\Pi$  по формуле

$$\Pi = \frac{K_m \cdot 8,76}{\rho(\text{Fe})}.$$

Подставляем значения:

$$\Pi = \frac{0,925 \cdot 8,76}{7,9} = 1,03 \text{ мм/год.}$$

**Ответ:** а)  $K_V = 375 \text{ см}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ ;  $K_m = 0,94 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ ;  
б)  $K_m = 0,925 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ ;  $\Pi = 1,03 \text{ мм/год.}$

### Задачи I уровня

1. Составьте схему коррозионного ГЭ, возникающего при повреждении покрытия хромированного железа в атмосферных условиях ( $\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$ ). Напишите уравнения электродных процессов. Каков характер покрытия (анодный или катодный)?

2. Составьте схему коррозионного ГЭ, возникающего при повреждении покрытия оцинкованного железа в кислой ( $\text{H}^+$ ) среде. Напишите уравнения электродных процессов. Каков характер покрытия (анодный или катодный)?

3. Составьте схему коррозионного ГЭ, возникающего при повреждении покрытия никелированного железа в кислой среде с доступом кислорода ( $\text{H}^+ + \text{O}_2$ ). Напишите уравнения электродных процессов. Каков характер покрытия (анодный или катодный)?

4. Составьте схему коррозионного ГЭ, возникающего при повреждении покрытия омедненного стального провода в кислой ( $\text{H}^+$ ) среде. Напишите уравнения электродных процессов. Каков характер покрытия (анодный или катодный)?

5. Составьте схему коррозионного ГЭ, возникающего при повреждении покрытия луженого железа в атмосферных условиях ( $\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$ ). Напишите уравнения электродных процессов. Каков характер покрытия (анодный или катодный)?

**6.** Составьте схему коррозионного ГЭ, возникающего при повреждении покрытия омедненного стального провода в кислой среде с доступом кислорода ( $H^+ + O_2$ ). Напишите уравнения электродных процессов. Каков характер покрытия (анодный или катодный)?

**7.** Составьте схему коррозионного ГЭ, возникающего при повреждении покрытия оцинкованного железа в атмосферных условиях ( $H_2O + O_2$ ). Напишите уравнения электродных процессов. Каков характер покрытия (анодный или катодный)?

**8.** Составьте схему коррозионного ГЭ, возникающего при повреждении покрытия никелированного железа в кислой ( $H^+$ ) среде. Напишите уравнения электродных процессов. Каков характер покрытия (анодный или катодный)?

**9.** Составьте схему коррозионного ГЭ, возникающего при повреждении покрытия луженого железа в кислой среде с доступом кислорода ( $H^+ + O_2$ ). Напишите уравнения электродных процессов. Каков характер покрытия (анодный или катодный)?

**10.** Составьте схему коррозионного ГЭ, возникающего при повреждении покрытия кадмированной железной детали в кислой ( $H^+$ ) среде. Напишите уравнения электродных процессов. Каков характер покрытия (анодный или катодный)?

**11.** Составьте схему коррозионного ГЭ, возникающего при повреждении покрытия никелированного железа в атмосферных условиях ( $H_2O + O_2$ ). Напишите уравнения электродных процессов. Каков характер покрытия (анодный или катодный)?

**12.** Составьте схему коррозионного ГЭ, возникающего при повреждении покрытия хромированного железа в кислой среде с доступом кислорода ( $H^+ + O_2$ ). Напишите уравнения электродных процессов. Каков характер покрытия (анодный или катодный)?

**13.** Составьте схему коррозионного ГЭ, возникающего при повреждении покрытия омедненного стального провода в атмосферных условиях ( $H_2O + O_2$ ). Напишите уравнения электродных процессов. Каков характер покрытия (анодный или катодный)?

**14.** Составьте схему коррозионного ГЭ, возникающего при повреждении покрытия луженого железа в кислой среде ( $H^+$ ). Напишите уравнения электродных процессов. Каков характер покрытия (анодный или катодный)?

**15.** Составьте схему коррозионного ГЭ, возникающего при повреждении покрытия кадмированной железной детали в кислой среде

с доступом кислорода ( $H^+ + O_2$ ). Напишите уравнения электродных процессов. Каков характер покрытия (анодный или катодный)?

### Задачи II уровня

1. Составьте схему коррозионного ГЭ, возникающего при контакте железной детали площадью  $10 \text{ см}^2$  с никелевой деталью в растворе соляной кислоты. Напишите уравнения электродных процессов и ионно-молекулярную суммарную реакцию процесса коррозии. Вычислите объемный и весовой показатели коррозии, если за 20 мин в процессе коррозии выделилось  $0,3 \text{ см}^3$  газа (н. у.).

2. Составьте схему коррозионного ГЭ, возникающего при контакте железной детали площадью  $20 \text{ см}^2$  с оловянной деталью в растворе соляной кислоты. Напишите уравнения электродных процессов и ионно-молекулярную суммарную реакцию процесса коррозии. Вычислите весовой и глубинный показатели коррозии, если за 2 ч потеря массы железной детали составила  $4 \cdot 10^{-4}$  г. Плотность железа равна  $7,9 \text{ г/см}^3$ .

3. Составьте схему коррозионного ГЭ, возникающего при повреждении слоя меди на стальной детали, находящейся в кислой среде ( $H^+$ ). Площадь повреждения составляет  $15 \text{ см}^2$ . Напишите уравнения электродных процессов и ионно-молекулярную суммарную реакцию процесса коррозии. Каков характер покрытия (анодный или катодный)? Вычислите объемный и весовой показатели коррозии, если за 0,5 ч в процессе коррозии выделилось  $0,6 \text{ см}^3$  газа (н. у.).

4. Составьте схему коррозионного ГЭ, возникающего при повреждении слоя меди на стальной детали, находящейся в кислой среде ( $H^+$ ). Площадь повреждения составляет  $25 \text{ см}^2$ . Напишите уравнения электродных процессов и ионно-молекулярную суммарную реакцию процесса коррозии. Каков характер покрытия (анодный или катодный)? Вычислите объемный и весовой показатели коррозии, если за 1,5 ч потеря массы железа составила  $2,8 \cdot 10^{-4}$  г. Плотность железа равна  $7,9 \text{ г/см}^3$ .

5. Составьте схему коррозионного ГЭ, возникающего при контакте железной детали площадью  $10 \text{ см}^2$  со свинцовой деталью в растворе серной кислоты. Напишите уравнения электродных процессов и ионно-молекулярную суммарную реакцию процесса

коррозии. Вычислите объемный и весовой показатели коррозии, если за 40 мин в процессе коррозии выделилось  $0,8 \text{ см}^3$  газа (н. у.).

### Контрольные задачи

1. Составьте схему коррозионного ГЭ, образованного при повреждении покрытия луженого железа в атмосферных условиях ( $\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$ ), используя величины стандартных электродных потенциалов металлов (табл. 4). Напишите уравнения электродных процессов и ионно-молекулярную суммарную реакцию коррозии. Каков характер покрытия?

2. Составьте схему коррозионного ГЭ, образованного при повреждении покрытия луженого железа на площади  $15 \text{ см}^2$  в кислой среде ( $\text{H}^+$ ), используя величины стандартных электродных потенциалов металлов (табл. 4). Напишите уравнения электродных процессов и ионно-молекулярную суммарную реакцию процесса коррозии. Каков характер покрытия? Вычислите объемный показатель коррозии, если за 1 ч 20 мин процесса коррозии выделилось  $0,6 \text{ см}^3$  газа (н. у.).

3. Составьте схему коррозионного ГЭ, возникающего при повреждении покрытия луженого железа в кислой среде с доступом кислорода ( $\text{H}^+ + \text{O}_2$ ), используя величины стандартных электродных потенциалов металлов (табл. 4). Напишите уравнения электродных процессов и ионно-молекулярную суммарную реакцию процесса коррозии. Каков характер покрытия?

4. Составьте схему коррозионного ГЭ, образованного при повреждении покрытия оцинкованного железа в атмосферных условиях ( $\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$ ), используя величины стандартных электродных потенциалов металлов (табл. 4). Напишите уравнения электродных процессов и ионно-молекулярную суммарную реакцию процесса коррозии. Каков характер покрытия?

5. Составьте схему коррозионного ГЭ, образованного при повреждении покрытия оцинкованного железа в кислой среде ( $\text{H}^+$ ), используя величины стандартных электродных потенциалов металлов (табл. 4). Напишите уравнения электродных процессов и ионно-молекулярную суммарную реакцию процесса коррозии. Каков характер покрытия? Вычислите весовой показатель коррозии, если объемный показатель составляет  $450 \text{ см}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ .



**6.** Составьте схему коррозионного ГЭ, образованного при повреждении покрытия оцинкованного железа в кислой среде с доступом кислорода ( $H^+ + O_2$ ), используя величины стандартных электродных потенциалов металлов (табл. 4). Напишите уравнения электродных процессов и ионно-молекулярную суммарную реакцию процесса коррозии. Каков характер покрытия?

**7.** Медь не вытесняет водород из разбавленных кислот. Почему? Однако если к грануле цинка, опущенной в разбавленную серную кислоту, прикоснуться медной проволокой, то на ней происходит бурное выделение водорода. Составьте схему возникшего коррозионного ГЭ, используя величины стандартных электродных потенциалов металлов (табл. 4). Напишите уравнения электродных процессов и ионно-молекулярную суммарную реакцию процесса коррозии.

**8.** Составьте схему коррозионного ГЭ, возникающего при повреждении покрытия кадмированного железа в кислой среде с доступом кислорода ( $H^+ + O_2$ ), используя величины стандартных электродных потенциалов металлов (табл. 4). Напишите уравнения электродных процессов и ионно-молекулярную суммарную реакцию процесса коррозии. Каков характер покрытия?

**9.** Составьте схему коррозионного ГЭ, образованного при повреждении покрытия никелированного железа в кислой среде ( $H^+$ ), используя величины стандартных электродных потенциалов металлов (табл. 4). Напишите уравнения электродных процессов и ионно-молекулярную суммарную реакцию процесса коррозии. Каков характер покрытия? Рассчитайте весовой показатель коррозии, если объемный показатель равен  $500 \text{ см}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ .

**10.** Серебро не вытесняет водород из разбавленных кислот. Почему? Однако если к грануле цинка, опущенной в разбавленную серную кислоту, прикоснуться серебряной проволокой, то на ней происходит бурное образование водорода. Составьте схему возникшего коррозионного ГЭ, используя величины стандартных электродных потенциалов металлов (табл. 4). Напишите уравнения электродных процессов и ионно-молекулярную суммарную реакцию процесса коррозии.

**11.** Составьте схему коррозионного ГЭ, возникающего при повреждении покрытия никелированного железа в атмосферных условиях ( $H_2O + O_2$ ), используя величины стандартных электродных

потенциалов металлов (табл. 4). Напишите уравнения электродных процессов и ионно-молекулярную суммарную реакцию процесса коррозии. Каков характер покрытия?

**12.** Стальные (железные) диски сцепления крепятся алюминиевыми заклепками. Составьте схему коррозионного ГЭ, возникающего при коррозии в кислой среде ( $H^+$ ), используя величины стандартных электродных потенциалов металлов (табл. 4). Напишите уравнения электродных процессов и ионно-молекулярную суммарную реакцию процесса коррозии.

**13.** Железная деталь находится в контакте со свинцом в атмосферных условиях ( $H_2O + O_2$ ). Составьте схему коррозионного ГЭ, используя величины стандартных электродных потенциалов металлов (табл. 4). Напишите уравнения электродных процессов и ионно-молекулярную суммарную реакцию процесса коррозии.

**14.** Свинцовая пластинка, покрытая медью, находится в кислой среде ( $H^+$ ). Составьте схему коррозионного ГЭ, образующегося при повреждении медного покрытия на площади  $20 \text{ см}^2$ , используя величины стандартных электродных потенциалов металлов (табл. 4). Напишите уравнения электродных процессов и ионно-молекулярную суммарную реакцию процесса коррозии. Каков характер покрытия? Вычислите объемный показатель коррозии, если за 2 ч 10 мин процесса коррозии выделилось  $0,4 \text{ см}^3$  газа (н. у.).

**15.** Хромированная железная деталь имеет повреждение покрытия. Составьте схему образовавшегося коррозионного ГЭ в атмосферных условиях ( $H_2O + O_2$ ), используя величины стандартных электродных потенциалов металлов (табл. 4). Напишите уравнения электродных процессов и ионно-молекулярную суммарную реакцию процесса коррозии. Каков характер покрытия?

**16.** Почему техническое железо (сталь) подвержено коррозии сильнее, чем чистое? Составьте схему ГЭ, имеющего место при коррозии технического железа в кислой среде ( $H^+$ ), используя величины стандартных электродных потенциалов металлов (табл. 4). Напишите уравнения электродных процессов и ионно-молекулярную суммарную реакцию процесса коррозии. Рассчитайте весовой показатель коррозии, если железная пластинка площадью  $30 \text{ см}^2$  за 1 ч 30 мин потеряла в массе  $4,5 \cdot 10^{-3} \text{ г}$ .

**17.** Серебряное покрытие на железном (стальном) изделии имеет повреждение. Составьте схему образовавшегося коррозионного ГЭ

в атмосферных условиях ( $\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$ ), используя величины стандартных электродных потенциалов металлов (табл. 4). Напишите уравнения электродных процессов и ионно-молекулярную суммарную реакцию процесса коррозии. Каков характер покрытия?

**18.** Имеется повреждение покрытия на позолоченном железном (стальном) изделии. Составьте схему образовавшегося коррозионного ГЭ в атмосферных условиях ( $\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$ ), используя величины стандартных электродных потенциалов металлов (табл. 4). Напишите уравнения электродных процессов и ионно-молекулярную суммарную реакцию процесса коррозии. Каков характер покрытия?

**19.** Магний и цинк находятся в контакте в кислой среде ( $\text{H}^+$ ). Составьте схему образовавшегося коррозионного ГЭ, используя величины стандартных электродных потенциалов металлов (табл. 4). Напишите уравнения электродных процессов и ионно-молекулярную суммарную реакцию процесса коррозии.

**20.** Составьте схему коррозионного ГЭ, возникающего при повреждении покрытия хромированной стальной (железной) детали в атмосферных условиях ( $\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$ ), используя величины стандартных электродных потенциалов металлов (табл. 4). Напишите уравнения электродных процессов и ионно-молекулярную суммарную реакцию процесса коррозии. Каков характер покрытия?

**21.** Имеется повреждение слоя платины на стальном (железном) контакте. Составьте схему образовавшегося коррозионного ГЭ в атмосферных условиях ( $\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$ ), используя величины стандартных электродных потенциалов металлов (табл. 4). Напишите уравнения электродных процессов и ионно-молекулярную суммарную реакцию процесса коррозии.

**22.** Составьте схему коррозионного ГЭ, возникающего при повреждении слоя кадмия на стальной (железной) детали в атмосферных условиях ( $\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$ ), используя величины стандартных электродных потенциалов металлов (табл. 4). Напишите уравнения электродных процессов и ионно-молекулярную суммарную реакцию процесса коррозии. Каков характер покрытия?

**23.** Составьте схему коррозионного ГЭ, возникающего при повреждении покрытия хромированной стальной (железной) детали в кислой среде с доступом кислорода ( $\text{H}^+ + \text{O}_2$ ), используя величины стандартных электродных потенциалов металлов (табл. 4). Напишите

уравнения электродных процессов и ионно-молекулярную суммарную реакцию процесса коррозии. Каков характер покрытия?

**24.** Составьте схему коррозионного ГЭ, возникающего при повреждении покрытия никелированной стальной (железной) детали в кислой среде с доступом кислорода ( $H^+ + O_2$ ), используя величины стандартных электродных потенциалов металлов (табл. 4). Напишите уравнения электродных процессов и ионно-молекулярную суммарную реакцию процесса коррозии. Каков характер покрытия?

**25.** Имеется повреждение слоя золота на стальном (железном) контакте. Составьте схему образовавшегося в кислой среде ( $H^+$ ) коррозионного ГЭ, используя величины стандартных электродных потенциалов металлов (табл. 4). Напишите уравнения электродных процессов и ионно-молекулярную суммарную реакцию процесса коррозии. Каков характер покрытия?

**26.** Алюминий и медь находятся в контакте в кислой среде ( $H^+$ ). Составьте схему образовавшегося коррозионного ГЭ, используя величины стандартных электродных потенциалов металлов (табл. 4). Напишите уравнения электродных процессов и ионно-молекулярную суммарную реакцию процесса коррозии. Рассчитайте весовой и глубинный показатели коррозии, если алюминиевая пластинка площадью  $40 \text{ см}^2$  за 2 ч 20 мин потеряла в массе  $6,8 \cdot 10^{-3} \text{ г}$ . Плотность алюминия равна  $2,7 \text{ г/см}^3$ .

**27.** Площадь контакта магния и олова составляет  $20 \text{ см}^2$ . Составьте схему образовавшегося в кислой среде ( $H^+$ ) коррозионного ГЭ, используя величины стандартных электродных потенциалов металлов (табл. 4). Напишите уравнения электродных процессов и ионно-молекулярную суммарную реакцию процесса коррозии. Вычислите объемный показатель коррозии, если за 30 мин процесса коррозии выделилось  $0,8 \text{ см}^3$  газа (н. у.).

**28.** Составьте схему коррозионного ГЭ, возникающего при повреждении слоя кадмия на стальной (железной) детали в кислой среде ( $H^+$ ), используя величины стандартных электродных потенциалов металлов (табл. 4). Напишите уравнения электродных процессов и ионно-молекулярную суммарную реакцию процесса коррозии. Каков характер покрытия? Вычислите объемный и весовой показатели коррозии, если за 1 ч 40 мин процесса коррозии выделилось  $0,6 \text{ см}^3$  газа (н. у.). Площадь детали равна  $30 \text{ см}^2$ .

**29.** Склепанные железная и медная пластинки находятся в кислой среде ( $H^+$ ) и образуют контакт площадью  $10 \text{ см}^2$ . Составьте схему коррозионного ГЭ, возникающего в месте контакта, используя величины стандартных электродных потенциалов металлов (табл. 4). Напишите уравнения электродных процессов и ионно-молекулярную суммарную реакцию процесса коррозии. Рассчитайте объемный, весовой и глубинный показатели коррозии, если за 2 ч процесса коррозии выделилось  $0,9 \text{ см}^3$  газа (н. у.). Плотность железа равна  $7,9 \text{ г/см}^3$ .

**30.** Цинк и никель находятся в контакте в кислой среде с доступом кислорода ( $H^+ + O_2$ ). Составьте схему образовавшегося коррозионного ГЭ, используя величины стандартных электродных потенциалов металлов (табл. 4). Напишите уравнения электродных процессов и ионно-молекулярную суммарную реакцию процесса коррозии.

## 14. ЭЛЕКТРОЛИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ЭЛЕКТРОЛИТОВ

### Типовые задачи и их решения

1. Составьте схемы электролиза водных растворов солей (инертные электроды): а) LiCl; б) AgNO<sub>3</sub>. Какие вещества выделяются на электродах? Какой объем кислорода и какая масса серебра выделяются из раствора AgNO<sub>3</sub>, если из раствора LiCl выделилось 420 см<sup>3</sup> хлора (н. у.)? Количества электричества, прошедшие через растворы, одинаковые.

*Дано:*

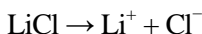
$$V(\text{Cl}_2) = 420 \text{ см}^3$$

$$V(\text{O}_2) - ?$$

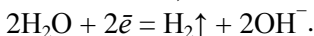
$$m(\text{Ag}) - ?$$

*Решение:*

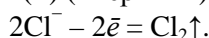
а) схема электролиза водного раствора LiCl на инертных электродах. В водном растворе имеются ионы:



К(-):



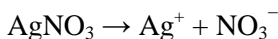
А(+)(инертный):



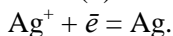
На катоде выделяется водород, на аноде выделяется хлор;

б) Схема электролиза водного раствора AgNO<sub>3</sub> на инертных электродах.

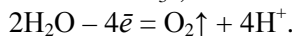
В водном растворе имеются ионы:



К(-):



А(+)(инертный):



На катоде выделяется серебро, на аноде выделяется кислород.

Из законов электролиза следует:

$$\frac{V(\text{Cl}_2)}{V_3(\text{Cl}_2)} = \frac{V(\text{O}_2)}{V_3(\text{O}_2)},$$

где  $V_3(\text{Cl}_2)$  – молярный объем эквивалента хлора, равный  $11\,200\text{ см}^3/\text{моль}$ ;

$V_3(\text{O}_2)$  – молярный объем эквивалента кислорода, равный  $5600\text{ см}^3/\text{моль}$ .

Следовательно, объем выделившегося кислорода равен

$$V(\text{O}_2) = \frac{V(\text{Cl}_2)V_3(\text{O}_2)}{V_3(\text{Cl}_2)} = \frac{420 \cdot 5600}{11200} = 210\text{ см}^3.$$

Также из законов электролиза следует:

$$\frac{m(\text{Ag})}{M_3(\text{Ag})} = \frac{V(\text{O}_2)}{V_3(\text{O}_2)}.$$

$$M_3(\text{Ag}) = \frac{M(\text{Ag})}{Z} = \frac{108}{1} = 108 \frac{\text{г}}{\text{моль}},$$

где  $Z$  – количество электронов, принятых в процессе восстановления.

Следовательно,

$$m(\text{Ag}) = \frac{V(\text{O}_2) \cdot M_3(\text{Ag})}{V_3(\text{O}_2)} = \frac{210 \cdot 108}{5600} = 4,05\text{ г}.$$

**Ответ:** а)  $V(\text{O}_2) = 210\text{ см}^3$ ; б)  $m(\text{Ag}) = 4,05\text{ г}$ .

2. Составьте схемы электролиза водного раствора соли  $\text{ZnCl}_2$ , если: а) электроды инертные; б) анод цинковый. Какие вещества выделяются на электродах? Сколько времени должен длиться электролиз с растворимым анодом, чтобы металлическую деталь площадью  $30\text{ см}^2$  покрыть слоем толщиной  $0,15\text{ мм}$  электролитически осажденного цинка при силе тока  $5\text{ А}$  и выходе по току  $0,97$ ? Плотность цинка равна  $7,13\text{ г/см}^3$ .

**Дано:**

$$S = 30 \text{ см}^2$$

$$h = 0,15 \text{ мм}$$

$$I = 5 \text{ А}$$

$$ВТ = 0,97$$

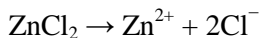
$$\rho(\text{Zn}) = 7,13 \text{ г/см}^3$$

$\tau = ?$

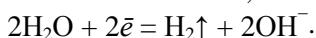
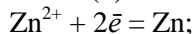
**Решение:**

а) схема электролиза водного раствора  $\text{ZnCl}_2$  на инертных электродах.

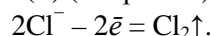
В водном растворе имеются ионы:



К(-):



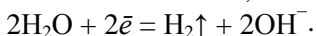
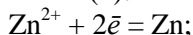
А(+ (инертный):



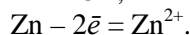
На катоде выделяются цинк и водород, на аноде – хлор;

б) схема электролиза водного раствора  $\text{ZnCl}_2$  с растворимым цинковым анодом:

К(-):



А(+ (цинковый):



На катоде выделяются цинк и водород. Цинковый анод растворяется (окисляется).

Масса цинка, необходимая для получения цинкового покрытия, рассчитывается по формуле

$$m(\text{Zn}) = S \cdot h \cdot \rho(\text{Zn}),$$

где  $S$  – площадь детали,  $\text{см}^2$ ;

$h$  – толщина слоя осажденного металла,  $\text{см}$ ;

$\rho(\text{Zn})$  – плотность осажденного цинка,  $\text{г/см}^3$ .

Подставляем значения:

$$m(\text{Zn}) = 30 \cdot 0,015 \cdot 7,13 = 3,21 \text{ г.}$$

Такая масса цинка должна быть получена при электролизе. По закону электролиза с учетом выхода по току (ВТ) масса осажденного цинка равна



$$m(\text{Zn}) = \frac{M_{\text{Э}}(\text{Zn}) \cdot I \cdot \tau}{F} \cdot \text{ВТ},$$

где  $I$  – сила тока, А;

$\tau$  – время электролиза, ч;

$F$  – постоянная Фарадея, равная 26,8 (А·ч)/моль.

ВТ – выход по току.

Рассчитываем время протекания электролиза:

$$\tau = \frac{m(\text{Zn}) \cdot F}{M_{\text{Э}}(\text{Zn}) \cdot I \cdot \text{ВТ}} = \frac{3,21 \cdot 26,8}{32,5 \cdot 5 \cdot 0,97} = 0,55 \text{ ч},$$

где  $M_{\text{Э}}(\text{Zn}) = M(\text{Zn}) / 2 = 65 / 2 = 32,5$  г/моль.

**Ответ:**  $\tau = 0,55$  ч.

**3.** Какие вещества и в каком объеме выделяются на инертных электродах, если проводить электролиз водного раствора  $\text{NaNO}_3$  в течение 3 ч при силе тока 2 А, температуре 20 °С и давлении 98 кПа. Давление при нормальных условиях  $P_0 = 101,3$  кПа, температура  $T_0 = 273$  К. Составьте схему электролиза на инертных электродах.

**Дано:**

$$\tau = 3 \text{ ч}$$

$$I = 2 \text{ А}$$

$$t = 20 \text{ °С}$$

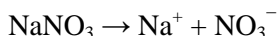
$$p = 98 \text{ кПа}$$

$$p_0 = 101,3 \text{ кПа}$$

$$T_0 = 273 \text{ К}$$

**Решение**

Схема электролиза водного раствора  $\text{NaNO}_3$  на инертных электродах. В водном растворе имеются ионы:



К(-):

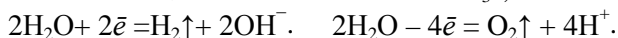


А(+)(инертный):



$$V(\text{O}_2) - ?$$

$$V(\text{H}_2) - ?$$



На катоде выделяется водород, на аноде выделяется кислород.

По закону электролиза объемы выделившихся водорода и кислорода при нормальных условиях равны

$$V_0(\text{H}_2) = \frac{V_{\text{э}}(\text{H}_2) \cdot I \cdot \tau}{F} = \frac{11,2 \cdot 2 \cdot 3}{26,8} = 2,5 \text{ дм}^3;$$

$$V_0(\text{O}_2) = \frac{V_{\text{э}}(\text{O}_2) \cdot I \cdot \tau}{F} = \frac{5,6 \cdot 2 \cdot 3}{26,8} = 1,25 \text{ дм}^3,$$

где  $V_{\text{э}}(\text{H}_2) = 11,2 \text{ дм}^3/\text{моль}$ ;

$V_{\text{э}}(\text{O}_2) = 5,6 \text{ дм}^3/\text{моль}$ .

Определяем объемы выделившихся газов при заданных условиях:

$$\frac{p \cdot V}{T} = \frac{p_0 \cdot V_0}{T_0};$$

$$V(\text{H}_2) = \frac{V_0(\text{H}_2) \cdot p_0 \cdot T}{p \cdot T_0};$$

$$V(\text{O}_2) = \frac{V_0(\text{O}_2) \cdot p_0 \cdot T}{p \cdot T_0}.$$

Подставляем значения:

$$V(\text{H}_2) = \frac{2,5 \cdot 101,3 \cdot (273 + 20)}{98 \cdot 273} = 2,8 \text{ дм}^3.$$

$$V(\text{O}_2) = \frac{1,25 \cdot 101,3 \cdot 293}{98 \cdot 273} = 1,4 \text{ дм}^3.$$

**Ответ:**  $V(\text{O}_2) = 1,4 \text{ дм}^3$ ;  $V(\text{H}_2) = 2,8 \text{ дм}^3$ .

4. Определите молярную концентрацию эквивалента  $\text{AgNO}_3$  в растворе, если для выделения всего серебра из  $100 \text{ см}^3$  этого

раствора потребовалось пропустить ток силой 2 А в течение 30 мин. Составьте схему электролиза водного раствора  $\text{AgNO}_3$  на инертных электродах.

**Дано:**

$$V_{\text{р-ра}} = 100 \text{ см}^3$$

$$I = 2 \text{ А}$$

$$\tau = 30 \text{ мин}$$

$$C_3(\text{AgNO}_3) = ?$$

**Решение**

Схему электролиза см. в задаче 1 (б).  
Молярная концентрация эквивалента  $\text{AgNO}_3$  в растворе определяется по формуле

$$C_3(\text{AgNO}_3) = \frac{n_3(\text{AgNO}_3)}{V_{\text{р-ра}}} = \frac{m(\text{AgNO}_3)}{M_3(\text{AgNO}_3) \cdot V_{\text{р-ра}}}.$$

В процессе электролиза выполняется условие

$$n_3(\text{AgNO}_3) = n_3(\text{Ag}),$$

при этом

$$n_3(\text{Ag}) = m(\text{Ag}) / M_3(\text{Ag}),$$

где  $m(\text{Ag})$  – масса серебра, выделившегося при электролизе, г.

По закону Фарадея

$$m(\text{Ag}) = \frac{M_3(\text{Ag}) \cdot I \cdot \tau}{F}.$$

Тогда  $n_3(\text{AgNO}_3) = m(\text{Ag}) / M_3(\text{Ag}) = I \cdot \tau / F$ .

В итоге молярная концентрация эквивалента  $\text{AgNO}_3$  в растворе будет равна

$$C_3(\text{AgNO}_3) = \frac{n_3(\text{AgNO}_3)}{V_{\text{р-ра}}} = \frac{I \cdot \tau}{F \cdot V_{\text{р-ра}}} = \frac{2 \cdot 30 \cdot 60}{96500 \cdot 0,1} = 0,4 \frac{\text{моль}}{\text{дм}^3},$$

где  $\tau$  – время, с;

$V_{\text{р-ра}}$  – объем раствора,  $\text{дм}^3$ ;

$F = 96\,500 \text{ А} \cdot \text{с} / \text{моль}$ .

**Ответ:**  $C_3(\text{AgNO}_3) = 0,4 \text{ моль} / \text{дм}^3$ .

## Задачи I уровня

1. Составьте схему электролиза водного раствора хлорида натрия  $\text{NaCl}$  (инертные электроды).
2. Составьте схему электролиза водного раствора сульфата никеля (II)  $\text{NiSO}_4$  (инертные электроды).
3. Составьте схему электролиза водного раствора хлорида никеля (II)  $\text{NiCl}_2$  (никелевый анод).
4. Составьте схему электролиза водного раствора хлорида магния  $\text{MgCl}_2$  (инертные электроды).
5. Составьте схему электролиза водного раствора нитрата кальция  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  (инертные электроды).
6. Составьте схему электролиза водного раствора нитрата меди (II)  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$  (инертные электроды).
7. Составьте схему электролиза водного раствора сульфата калия  $\text{K}_2\text{SO}_4$  (инертные электроды).
8. Составьте схему электролиза водного раствора сульфата цинка  $\text{ZnSO}_4$  (цинковый анод).
9. Составьте схему электролиза водного раствора нитрата меди (II)  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$  (медный анод).
10. Составьте схему электролиза водного раствора хлорида кальция  $\text{CaCl}_2$  (инертные электроды).
11. Составьте схему электролиза водного раствора нитрата кадмия (II)  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$  (инертные электроды).
12. Составьте схему электролиза водного раствора нитрата серебра (I)  $\text{AgNO}_3$  (серебряный анод).
13. Составьте схему электролиза расплава гидроксида натрия  $\text{NaOH}$ .
14. Составьте схему электролиза расплава хлорида натрия  $\text{NaCl}$ .
15. Составьте схему электролиза водного раствора сульфата олова (II)  $\text{SnSO}_4$  (оловянный анод).

## Задачи II уровня

1. Ток последовательно проходит через электролизеры, в которых содержатся водные растворы солей: а) сульфата цинка  $\text{ZnSO}_4$ ; б) нитрата никеля (II)  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ ; в) хлорида натрия  $\text{NaCl}$ . Какие массы

металлов выделяются из растворов, если в последнем электролизере выделилось  $1,4 \text{ дм}^3$  хлора (н. у.)? Составьте схемы электролиза всех водных растворов солей на инертных электродах.

2. Определите молярную массу эквивалента и название двухвалентного металла, если для выделения 1 г этого металла из водного раствора его соли потребовалось 3275,6 Кл электричества. Составьте схему электролиза водного раствора сульфата данного металла на инертных электродах.

3. Какие вещества и в каком количестве выделяются на графитовых электродах, если проводить электролиз водного раствора сульфата калия  $\text{K}_2\text{SO}_4$  в течение 1 ч 20 мин при силе тока 2 А (н. у.)? Напишите уравнения электродных процессов.

4. Определите молярную массу эквивалента и название трехвалентного металла, если при прохождении через раствор его соли тока силой 10 А в течение 1 ч выделилось 6,47 г металла. Напишите уравнения электродных процессов, происходящих на графитовых электродах при электролизе водного раствора нитрата данного металла.

5. Определите молярную массу эквивалента и название металла, если для выделения 1 г этого металла через водный раствор его соли пропущено 2966,36 Кл электричества. Напишите уравнения электродных процессов, происходящих на графитовых электродах при электролизе водного раствора хлорида данного металла.

### Контрольные задачи

1. Через водные растворы нитрата серебра и сульфата никеля (II) пропустили одинаковые количества электричества. Из раствора  $\text{AgNO}_3$  выделилось 5,4 г серебра. Какая масса никеля выделится из раствора  $\text{NiSO}_4$ ? Составьте схему электролиза водного раствора  $\text{NiSO}_4$  на инертных электродах.

2. Составьте схемы электролиза водных растворов солей на инертных электродах: а) бромид натрия  $\text{NaBr}$ ; б) сульфата меди (II)  $\text{CuSO}_4$ . Какое количество электричества нужно пропустить через раствор  $\text{CuSO}_4$ , чтобы получить 8 г меди при выходе по току (ВТ), равном 0,86?

**3.** Составьте схемы электролиза водных растворов солей на инертных электродах: а) иодида натрия NaI; б) сульфата меди (II)  $\text{CuSO}_4$ . Какие объемы газов выделяются из растворов, если электролиз проводить при силе тока 4 А в течение 20 мин (н. у.)?

**4.** Определите молярную концентрацию эквивалента нитрата серебра (I)  $\text{AgNO}_3$  в растворе, если для выделения всего серебра из  $80 \text{ см}^3$  этого раствора потребовалось пропустить ток силой 0,8 А в течение 20 мин. Составьте схему электролиза водного раствора данной соли на инертных электродах.

**5.** Какой объем водорода выделится при электролизе водного раствора гидроксида калия KOH, если электролиз вести в течение 2,5 ч при силе тока 1,5 А, температуре  $27^\circ\text{C}$  и давлении 102 кПа? Составьте схему электролиза водного раствора KOH на инертных электродах.

**6.** Рассчитайте, сколько времени потребуется для получения 20 г олова путем электролиза водного раствора хлорида олова (II)  $\text{SnCl}_2$  при силе тока 10 А. Какой объем хлора выделится (н. у.)? Составьте схему электролиза водного раствора данной соли на инертных электродах.

**7.** Составьте схему электролиза водного раствора сульфата кадмия (II)  $\text{CdSO}_4$  на инертных электродах. Определите массу выделившегося кадмия, если при электролизе на аноде образовалось  $1120 \text{ см}^3$  газа (н. у.).

**8.** Составьте схему электролиза водного раствора нитрата висмута (III)  $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$  на инертных электродах. Определите объем кислорода (н. у.), если на катоде выделилось 1,05 г висмута.

**9.** Составьте схему электролиза водного раствора нитрата серебра (I)  $\text{AgNO}_3$  (серебряный анод). Как изменится масса анода, если электролиз проводить при силе тока 2 А в течение 45 мин?

**10.** Составьте схему электролиза водного раствора нитрата бария на инертных электродах. Рассчитайте объемы выделившихся газов, если электролиз раствора  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$  проводить в течение 2 ч при силе тока 3 А, температуре  $22^\circ\text{C}$  и давлении 90 кПа.

**11.** Составьте схему электролиза водного раствора хлорида никеля (II) на инертных электродах. Вычислите объем получившегося хлора, если масса выделившегося никеля составила 3 г. Электролиз раствора  $\text{NiCl}_2$  проводился при температуре  $30^\circ\text{C}$  и давлении 96 кПа.

12. Металлическую деталь площадью  $20 \text{ см}^2$  необходимо покрыть слоем электролитически осажденной меди из водного раствора хлорида меди (II). Составьте схему электролиза  $\text{CuCl}_2$  (медный анод). Ток какой силы необходимо пропустить через раствор  $\text{CuCl}_2$  в течение 40 мин и выходе по току 0,99, чтобы получить толщину покрытия 0,2 мм? Плотность меди равна  $8,96 \text{ г/см}^3$ .

13. Металлическую деталь площадью  $40 \text{ см}^2$  необходимо покрыть слоем электролитически осажденного никеля из водного раствора хлорида никеля (II)  $\text{NiCl}_2$ . Составьте схему электролиза  $\text{NiCl}_2$  (никелевый анод). Сколько времени должен длиться электролиз при силе тока 6 А и выходе по току 0,95, чтобы получить толщину покрытия 0,18 мм? Плотность никеля равна  $8,91 \text{ г/см}^3$ .

14. Металлическую деталь площадью  $28 \text{ см}^2$  необходимо покрыть слоем электролитически осажденного олова из водного раствора хлорида олова (II)  $\text{SnCl}_2$ . Составьте схему электролиза (оловянный анод). Ток какой силы необходимо пропустить через раствор  $\text{SnCl}_2$  в течение 1 ч 20 мин и выходе по току 0,94, чтобы получить толщину покрытия 0,16 мм? Плотность олова равна  $7,26 \text{ г/см}^3$ .

15. Металлическую деталь площадью  $16 \text{ см}^2$  необходимо покрыть слоем электролитически осажденного серебра из водного раствора нитрата серебра (I). Составьте схему электролиза (серебряный анод). Сколько времени необходимо пропускать через раствор  $\text{AgNO}_3$  ток силой 10 А при выходе по току 0,98, чтобы получить толщину покрытия 0,14 мм? Плотность серебра равна  $10,5 \text{ г/см}^3$ .

16. Определите молярную концентрацию эквивалента сульфата меди (II) в растворе, если для выделения всей меди из  $150 \text{ см}^3$  этого раствора потребовалось пропустить ток силой 5 А в течение 1 ч 15 мин. Составьте схему электролиза водного раствора  $\text{CuSO}_4$  на инертных электродах.

17. Через водные растворы хлоридов хрома (III) и никеля (II) пропустили одинаковое количество электричества. Из раствора  $\text{CrCl}_3$  выделилось 6,8 г хрома. Какая масса никеля выделится из раствора  $\text{NiCl}_2$ ? Составьте схемы электролиза растворов на инертных электродах.

18. Составьте схемы электролиза водного раствора сульфата кобальта (II)  $\text{CoSO}_4$ , если: а) анод инертный; б) анод кобальтовый. Как изменилась масса кобальтового анода (б), если через раствор пропустили ток силой 2 А в течение 4 ч?

19. Сколько времени потребуется для выделения всей меди из  $40 \text{ см}^3$  раствора с молярной концентрацией эквивалента  $C_3(\text{CuCl}_2) = 0,25 \text{ моль/дм}^3$  при силе тока  $2 \text{ А}$ ? Составьте схему электролиза водного раствора хлорида меди (II)  $\text{CuCl}_2$  на инертных электродах.

20. При какой силе тока можно выделить в течение 30 мин всю медь из  $120 \text{ см}^3$  раствора нитрата меди (II) с молярной концентрацией эквивалента  $C_3(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2)$ , равной  $0,1 \text{ моль/дм}^3$ ? Составьте схему электролиза водного раствора  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$  на инертных электродах.

21. Сколько времени потребуется для выделения всего марганца из  $100 \text{ см}^3$  водного раствора хлорида марганца (II) с молярной концентрацией эквивалента  $C_3(\text{MnCl}_2)$ , равной  $0,1 \text{ моль/дм}^3$ , при силе тока  $1 \text{ А}$ ? Составьте схему электролиза водного раствора данной соли на инертных электродах.

22. При какой силе тока можно выделить из водного раствора гидроксида натрия  $\text{NaOH}$   $6 \text{ дм}^3$  кислорода в течение 3 ч при температуре  $17 \text{ }^\circ\text{C}$  и давлении  $98 \text{ кПа}$ ? Составьте схему электролиза водного раствора  $\text{NaOH}$  на инертных электродах.

23. Определите объемы газов, которые выделяются при электролизе водного раствора соляной кислоты  $\text{HCl}$ , если через электролизер пропустили ток силой  $10 \text{ А}$  в течение 2 ч при температуре  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  и давлении  $95 \text{ кПа}$ . Составьте схему электролиза водного раствора соляной кислоты на инертных электродах.

24. При электролизе водного раствора сульфата никеля (II) выделилось  $3,8 \text{ дм}^3$  кислорода при температуре  $26 \text{ }^\circ\text{C}$  и давлении  $100 \text{ кПа}$ . Какая масса никеля выделится? Составьте схему электролиза водного раствора  $\text{NiSO}_4$  на инертных электродах.

25. При электролизе водного раствора сульфата меди (II) получено  $0,72 \text{ г}$  меди. Электролиз проводился при силе тока  $2,5 \text{ А}$  в течение 15 мин. Вычислите выход по току. Составьте схему электролиза водного раствора  $\text{CuSO}_4$ , если анод: а) инертный; б) медный.

26. При электролизе водного раствора нитрата серебра (I) в течение 50 мин при силе тока  $3 \text{ А}$  выделилось  $9,6 \text{ г}$  серебра. Определите выход по току. Составьте схему электролиза водного раствора  $\text{AgNO}_3$ , если анод: а) инертный; б) серебряный.

27. Сколько времени потребуется для электролиза  $250 \text{ см}^3$  водного раствора хлорида ртути (II) с молярной концентрацией эквивалента



$C_3(\text{HgCl}_2) = 0,15$  моль/дм<sup>3</sup> при силе тока 5,8 А, чтобы выделить всю ртуть? Составьте схему электролиза водного раствора данной соли на инертных электродах.

**28.** При электролизе водного раствора сульфата меди (II)  $\text{CuSO}_4$  на аноде (графитовые электроды) выделилось 5600 см<sup>3</sup> газа (н. у.). Напишите уравнения электродных процессов. Какое вещество и в каком количестве выделилось на катоде?

**29.** При электролизе водного раствора нитрата кальция  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  на аноде (графитовые электроды) выделилось 820 см<sup>3</sup> газа (н. у.). Напишите уравнения электродных процессов. Какое вещество и в каком количестве выделилось на катоде?

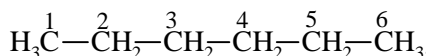
**30.** Определите объемы газов, выделившихся в результате электролиза водного раствора сульфата натрия в течение 1,5 ч при силе тока 3,5 А, температуре 22 °С и давлении 96 кПа. Составьте схему электролиза водного раствора  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  на инертных электродах.

## 15. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА УГЛЕВОДОРОДОВ

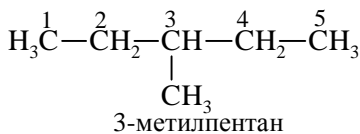
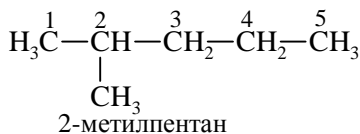
### Типовые задачи и их решения

1. Составьте структурные формулы изомеров алкана  $C_6H_{14}$  и назовите их по систематической номенклатуре (номенклатуре ИУПАС).

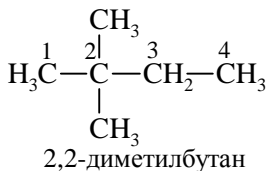
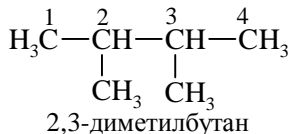
**Решение.** Алкан с неразветвленной цепью с шестью атомами углерода – гексан, структурная формула которого



имеет два изомера с пятью атомами углерода в главной углеродной цепи:



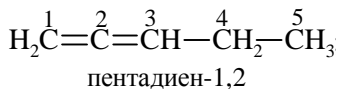
и два изомера с четырьмя атомами углерода в главной углеродной цепи:



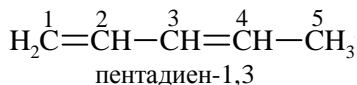
2. Углеводород с неразветвленной цепью, относящийся к гомологическому ряду диеновых, имеет формулу  $C_5H_8$ . Приведите структурную формулу этого углеводорода и его изомеров, отличающихся друг от друга взаимным расположением двойных связей. Назовите их по систематической номенклатуре и определите вид.

**Решение.** Углеводород, имеющий в составе пять атомов углерода и соответствующий молекулярной формуле  $C_nH_{2n-2}$ , относящийся к классу алкадиенов, является пентадиеном. При изомерии положения кратных связей возможно образование следующих видов изомеров:

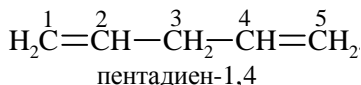
а) **кумулированные алкадиены** – двойные связи расположены рядом друг с другом:



б) **сопряженные алкадиены** – двойные связи расположены через одну одинарную:

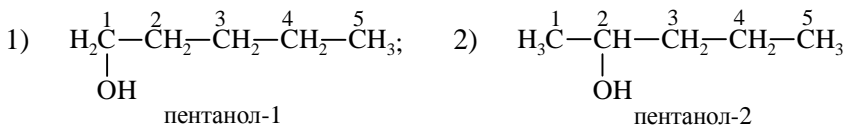


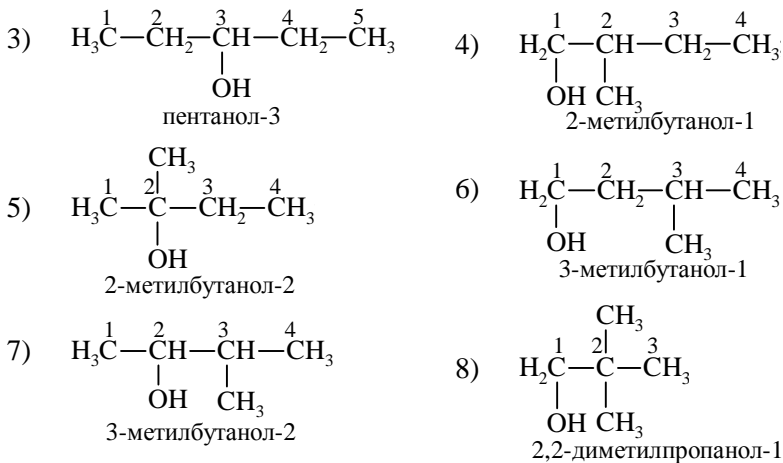
в) **изолированные алкадиены** – двойные связи расположены через две и более одинарных:



**3.** Составьте структурные формулы изомерных спиртов с молекулярной формулой  $C_5H_{11}OH$  и назовите их по систематической номенклатуре.

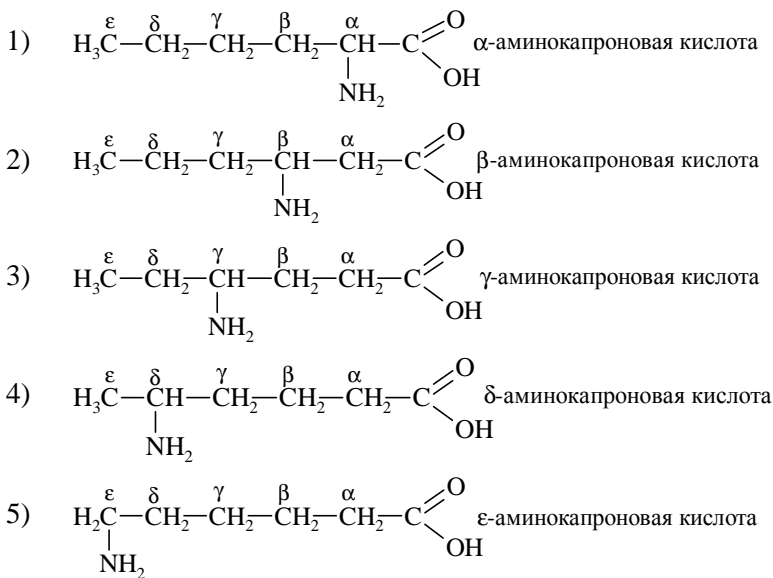
**Решение.** Приведенная формула соответствует классу одноатомных предельных спиртов  $C_nH_{2n+1}OH$ :





4. Составьте структурные формулы всех изомеров аминокaproновой кислоты состава  $\text{C}_6\text{H}_{13}\text{O}_2\text{N}$ , обусловленных различным положением аминогруппы при одинаковом неразветвленном углеродном скелете, и назовите их по рациональной номенклатуре.

**Решение:**

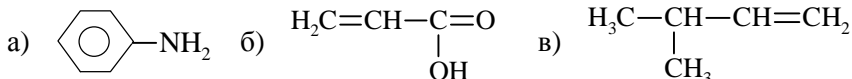




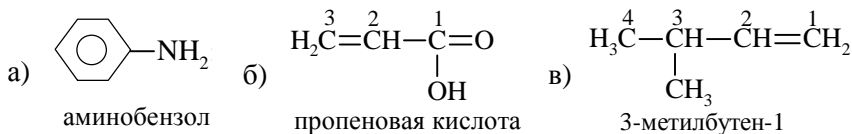


ж)  $\text{H}_3\text{C}-\text{OH}$   
метанол (спирты)

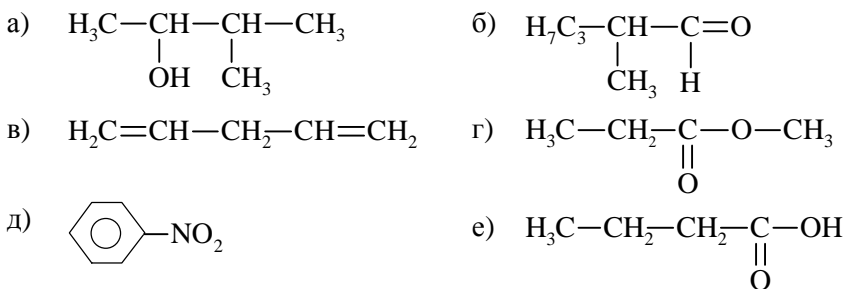
9. Назовите следующие соединения по систематической номенклатуре:



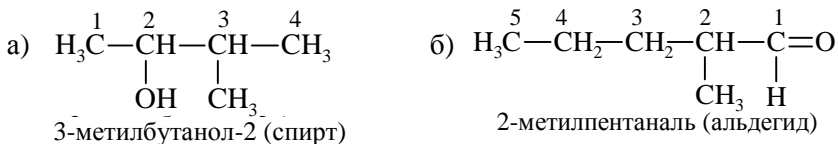
**Решение:**

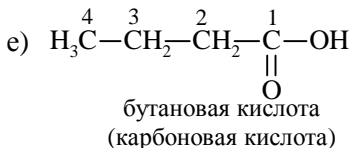
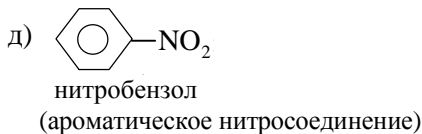
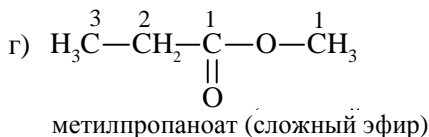
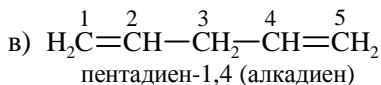


10. Назовите следующие соединения по систематической номенклатуре и определите их классы:



**Решение:**





### Задачи I уровня

Составьте структурные формулы соединений и укажите их возможные изомеры (назовите по систематической номенклатуре):

- а) пентен-2; б) бутанол-2.
- а) бутен-1; б) пентанол-2.
- а) бутadiен-1,3; б) пропаналь.
- а) бутин-1; б) пентаналь.
- а) бутен-2; б) пропанол-2.
- а) бутин-2; б) пропанон.
- а) 2-метилбутен-1; б) пропановая кислота.
- а) 2-метилпентен-1; б) бутанон-2.
- а) 2,3-диметилбутан; б) 2-метилпентанол-1.
- а) 3-метилпентан; б) гексаналь.
- а) 2-метилбутадиен-1,3; б) метиловый эфир этановой кислоты.
- а) 3-этилгексан; б) бутанол-1.
- а) метилбензол; б) пентановая кислота.
- а) 1,2-диметилбензол; б) метиловый эфир метановой кислоты.
- а) циклопентан; б) 2-метилпентаналь.

### Задачи II уровня

1. Какой объем кислорода при нормальных условиях расходуется при полном сгорании 2 дм<sup>3</sup> пропана?

2. Запишите уравнение реакции взаимодействия 2-метилбутена-1: а) с бромной водой; б) бромоводородом. Назовите полученные



соединения по систематической номенклатуре. Для случая б) составьте формулы возможных изомеров, назовите их и укажите вид изомерии.

3. Какую массу бутадиена-1,3 можно получить из 2 дм<sup>3</sup> 96%-го этанола (плотность 0,8 г/см<sup>3</sup>)? Как называется такая реакция?

4. Каковы различия в свойствах предельных и непредельных углеводородов? Предложите способ разделения смеси углеводородов, содержащей пентан и пентен-1. Напишите уравнения соответствующих реакций. Назовите полученные соединения по систематической номенклатуре.

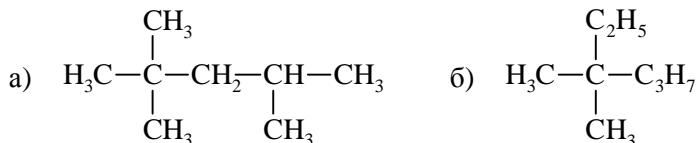
5. Напишите уравнения реакций, отвечающие следующей схеме превращений: этилен → этанол → бутадиен-1,4 → синтетический каучук.

### Контрольные задачи

Для задач 1–15 составьте структурные формулы соединений и укажите их возможные изомеры (назовите изомеры по систематической номенклатуре):

1. а) циклобутан; б) диметиловый эфир.
2. а) 3-метилпентан; б) 2-аминоэтановая кислота.
3. а) 2-метилпентен-1; б) бутановая кислота.
4. а) пентадиен-2,4; б) метиловый эфир этановой кислоты.
5. а) пентен-1; б) 2-метилбутанол-1.
6. а) гексен-1; б) 2-метилпентанол-2.
7. а) 2-метилпентен-2; б) 2-метилбутановая кислота.
8. а) пентен-1; б) 3-метилбутаналь.
9. а) 2,4-диметилгексен-1; б) 2-метилпропаналь.
10. а) пентин-2; б) 3-аминобутановая кислота.
11. а) 2-метилгексен-2; б) пропиловый эфир пропановой кислоты
12. а) 2,2,4-триметилгексан; б) бензойная кислота.
13. а) 1-хлорэтен; б) 2-метилпентанол-3.
14. а) пропин-1; б) 2-метилпропанол-2.
15. а) 2-метилпентадиен-1,3; б) 3-хлорбутаналь.
16. Составьте структурные формулы веществ по их названиям:  
а) 2,4-диметилгексан; б) 2,4,4-триметилгептан; в) 2,2,5-триметил-3,3-дихлоргексан.

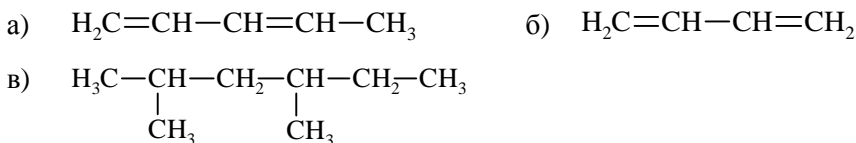
17. Назовите следующие соединения по систематической номенклатуре:



18. Химическое название фреона-114, используемого в качестве хладагента в домашних холодильниках, – тетрафтордихлорэтан. Составьте структурную формулу этого соединения, зная, что атомы фтора распределены в молекуле этого соединения симметрично относительно атомов углерода. Имеет ли это соединение изомеры?

19. Эффективным средством борьбы с огнем является тетрафтордибромэтан, в молекуле которого атомы галогенов распределены симметрично относительно атомов углерода. Составьте структурную формулу этого соединения и его возможных изомеров. Назовите их по систематической номенклатуре.

20. Назовите следующие соединения по систематической номенклатуре и определите их принадлежность к классам:



21. Эффективным средством борьбы с вредителями сельскохозяйственных растений является гексахлорбутадиен-1,3 – продукт замещения хлором всех атомов водорода молекулы бутадиена-1,3. Составьте структурную формулу этого соединения.

22. Составьте структурные формулы альдегидов, образующихся при окислении спиртов, записав уравнения реакций их окисления:

а) пропанола  $\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2\text{OH}$ ;

б) бутанола  $\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2\text{OH}$ .

Назовите полученные соединения по систематической номенклатуре.

**23.** Составьте структурные формулы следующих альдегидов: а) 2-метилпентаналь; б) 2,3-диметилбутаналь; в) гексаналь. Запишите уравнения их получения по реакции окисления соответствующих спиртов.

**24.** Классифицируйте и назовите по систематической номенклатуре следующие соединения:

- а)  $C_6H_6$  б)  $C_6H_{12}$  в)  $C_6H_5CH_3$  г)  $H_3C-NH_2$  д)  $C_6H_5COOH$   
е)  $H_2C=CH-\underset{\substack{| \\ OH}}{C=O}$  ж)  $H_2C=CH-\underset{\substack{| \\ OCH_3}}{C=O}$

**25.** Назовите приведенные соединения по систематической номенклатуре и укажите изомеры среди них:

- а)  $H_3C-CH_2-CH_2-CH_3$  б)  $H_3C-CH_2-CH_3$  в)  $H_3C-\underset{\substack{| \\ CH_3}}{CH}-CH_3$

**26.** Составьте структурные формулы возможных изомеров, соответствующих формуле  $C_5H_{10}$ , и назовите их по систематической номенклатуре.

**27.** Составьте структурные формулы возможных изомеров, соответствующих формуле  $C_6H_{12}$ , и назовите их по систематической номенклатуре.

**28.** Составьте структурные формулы возможных изомеров гексанола  $C_6H_{13}OH$  и назовите их по систематической номенклатуре.

**29.** В качестве окислителя топлива применяют производное метана – тетранитрометан. К какому классу соединений он относится? Составьте структурную формулу этого соединения.

**30.** Какие из веществ являются гомологами пентена: а)  $C_2H_4$ ; б)  $C_3H_8$ ; в)  $C_{10}H_{22}$ ; г)  $C_6H_6$ ? Составьте структурные формулы приведенных соединений и назовите их по систематической номенклатуре.

## 16. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

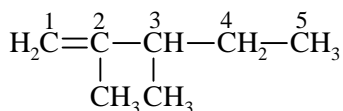
### Типовые задачи и их решения

1. Составьте схему реакции полимеризации соединений:  
а) 2,3-диметилпентен-1; б) 2-метилгексадиен-1,3; в) 2-гидроксипентен-3-овая кислота; г) этена. Укажите мономер, полимер и степень полимеризации.

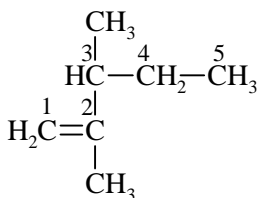
**Решение:**

а) последовательность выполнения действий в заданиях такого типа следующая:

1) составляем структурную формулу мономера – соединения, которое подвергается полимеризации (содержит в своем составе кратную связь):

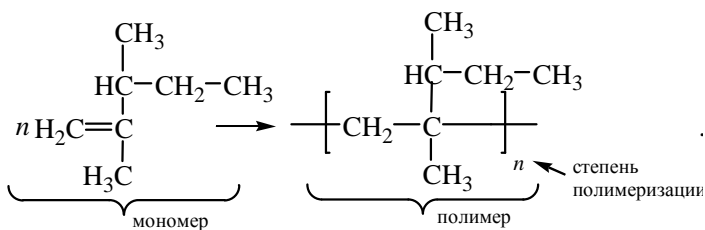


2) переписываем исходный мономер таким образом, чтобы кратная связь была выделена, а углеродные остатки располагаем над и под плоскостью кратной связи:



3) разрываем кратную связь и получаем полимер, в котором мономерное звено приводим в квадратных скобках без изменения состава;

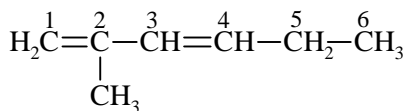
4) составляем схему реакции полимеризации, указывая степень полимеризации  $n$  в виде индекса (количество повторяющихся мономерных звеньев в полимере):



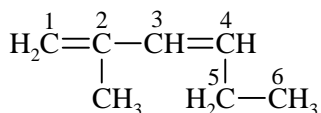
Отмечаем, что при полимеризации побочных продуктов не образуется;

б) последовательность выполнения действий аналогична пункту а).

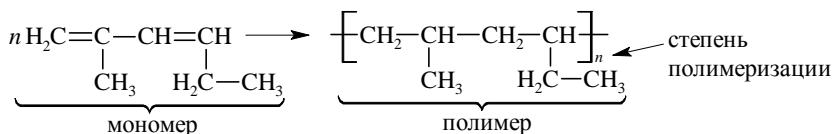
Составляем структурную формулу мономера:



Выделяем сопряженные кратные связи:

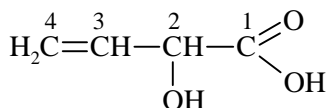


Составляем схему реакции полимеризации, указываем мономер, полимер и степень полимеризации, учитывая, что исходные двойные связи не сохраняются, образуется одна новая:

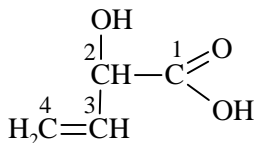


в) последовательность выполнения действий аналогична пункту а).

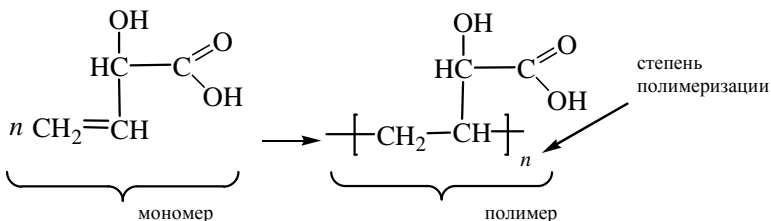
Составляем структурную формулу мономера:



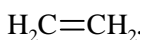
Выделяем кратную связь между атомами углерода:



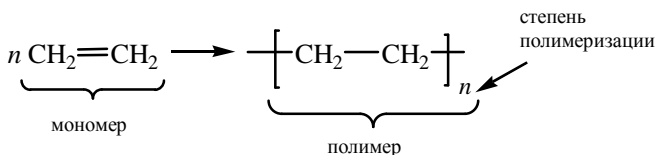
Составляем схему реакции полимеризации, указываем мономер, полимер и степень полимеризации:



г) последовательность выполнения действий аналогична пункту а). Составляем структурную формулу мономера:



Составляем схему реакции полимеризации, указываем мономер, полимер и степень полимеризации:

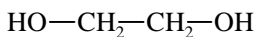


2. Составьте схему реакций поликонденсации соединений: а) этандиола-1,2 (этиленгликоля); б) 2-аминопропановой кислоты; в) этандиола-1,2 и этандиовой кислоты. Назовите полученные полимеры.

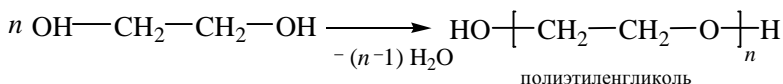
**Решение:**

а) последовательность выполнения действий в заданиях такого типа следующая:

1) составляем структурную формулу мономера – соединения, которое подвергается поликонденсации (содержит в своем составе две функциональные группы):

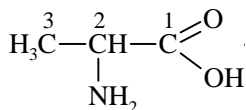


2) составляем схему реакции поликонденсации, указывая степень полимеризации  $n$  в виде индекса (количество повторяющихся мономерных звеньев в полимере):

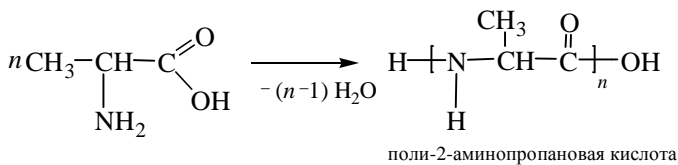


Отмечаем, что при поликонденсации образуются побочные продукты (молекулы  $\text{H}_2\text{O}$ );

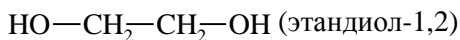
б) последовательность выполнения действий аналогична пункту а). Составляем структурную формулу мономера:



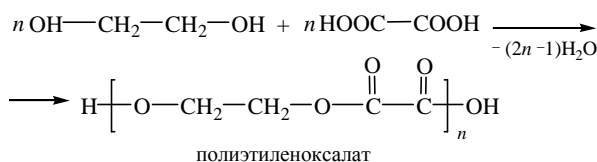
Составляем схему реакции поликонденсации:



в) последовательность выполнения действий аналогична пункту а). Составляем структурные формулы мономеров:



Составляем схему реакции поликонденсации:



### Задачи I уровня

Составьте схему реакции полимеризации (укажите мономер, полимер и степень полимеризации) следующих соединений:

1. 2-метилпропен.
2. 2-метилбутен-1.
3. 2-метилбутадиен-1,3.
4. 2-хлорбутадиен-1,3.
5. Пентен-1.
6. Пентен-2.
7. 2-метилбутен-2.
8. Пентадиен-1,3.
9. 2,3-диметилпентен-2.
10. 3-метилпентен-1.
11. 2-метилпентадиен-1,3.
12. 3-этилгексен-1.
13. Фенилэтен.
14. 2-фенилпропен.
15. 2-хлорпентен-2.

### Задачи II уровня

1. Составьте структурную формулу простейшей непредельной одноосновной карбоновой кислоты и уравнение реакции взаимодействия ее с метанолом (укажите условия протекания реакции). Назовите полученное соединение по систематической номенклатуре и напишите уравнение реакции полимеризации полученного продукта.

2. Составьте схему реакции поликонденсации аминокислоты  $\text{H}_2\text{N}-(\text{CH}_2)_6-\text{COOH}$  и приведите структурную формулу



образующегося высокомолекулярного соединения. Что такое пептидная связь? Укажите в полученном соединении образование данной связи.

3. Как можно получить винилхлорид, имея в наличии карбид кальция, хлорид натрия, серную кислоту и воду? Напишите уравнения соответствующих реакций. Составьте схему реакции полимеризации винилхлорида. Какими свойствами обладает данный полимер и где применяется?

4. В чем отличие сополимеризации от полимеризации? Напишите уравнение реакции образования каучука из дивинила и стирола. Объясните сущность процесса вулканизации каучука. Для каких целей он применяется? Какие продукты могут быть получены при вулканизации каучука? Укажите их свойства.

5. Какие виды стереоизомеров могут быть получены при синтезе: а) полибутадиена; б) полиизопрена; в) полихлоропрена? Напишите уравнения соответствующих реакций и назовите исходные мономеры и полимеры по систематической номенклатуре.

### Контрольные задачи

1. Полимеризацией тетрафторэтилена получают очень ценный полимер – тефлон, который называют «органической платиной». Составьте схему реакции получения тефлона и объясните его название, исходя из свойств этого полимера.

2. Составьте схему реакции получения полистирола. Назовите области применения этого полимера.

3. Составьте схему реакции полимеризации бутадиена-1,3. Какими свойствами обладает полученный полимер?

4. Напишите уравнение реакции получения натурального каучука. Какими свойствами он обладает?

5. Составьте схему реакции полимеризации винилхлорида. Назовите исходный мономер по систематической номенклатуре.

6. Из какого мономера получают прозрачный материал «органическое стекло»? Напишите уравнение реакции его получения.

7. Что такое реакция поликонденсации? Напишите уравнение реакции получения капрона.

**8.** В чем сходство и отличие реакций полимеризации и поликонденсации? Приведите примеры реакций.

**9.** Найлон получают по реакции поликонденсации двухосновной адипиновой кислоты  $\text{HOOC}-(\text{CH}_2)_4-\text{COOH}$  и гексаметилендиамина  $\text{H}_2\text{N}-(\text{CH}_2)_6-\text{NH}_2$ . Напишите уравнение реакции получения найлона.

**10.** Охарактеризуйте физико-механические состояния полимеров, руководствуясь кривой зависимости степени деформации от температуры.

**11.** Какие стереоизомеры может образовывать полипропилен? Напишите структурные формулы, обозначьте виды.

**12.** Приведите примеры термопластичных и терморезистивных полимеров, охарактеризуйте их отличительные особенности.

**13.** Для чего проводят процесс вулканизации? Какие полимерные материалы можно получить таким способом?

**14.** Напишите уравнение реакции получения лавсана. Какими свойствами обладает данный полимер?

**15.** Что такое сополимеризация? Напишите уравнение реакции получения полиэтиленстирола.

**16-30.** Составьте схему реакции полимеризации (укажите мономер, полимер и степень полимеризации) следующих соединений:

**16.** 1-бромпропен.

**17.** 2-хлорпропен.

**18.** 2-метилгексен-1.

**19.** 1-хлорпентадиен-2,4.

**20.** 2,3-диметилбутен-1.

**21.** Гексен-3.

**22.** 2-метилгексен-2.

**23.** 1-хлорпентадиен-1,3.

**24.** Пентадиен-1,4.

**25.** 3-фенилбутен-1.

**26.** Пропеновая кислота.

**27.** Метилвый эфир пропеновой кислоты.

**28.** 2-метилпропеновая кислота.

**29.** Этиловый эфир 2-метилпропеновой кислоты.

**30.** 3,4-диметилгексен-1.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

### *Основная*

1. Химия. Лабораторный практикум : учебно-методическое пособие / сост.: И. Б. Бутылина, А. А. Нехайчик. – Минск : БГАТУ, 2021. – 152 с.
2. Химия [Электронный ресурс] : электронный учебно-методический комплекс / сост.: С. В. Слонская [и др.]. – Электронные данные (14 553 252 байт). – Минск : БГАТУ, 2020. – Заглавие с экрана.
3. Химия : пособие / сост.: С. М. Арабей, И. Б. Бутылина, С. В. Слонская. – Минск : БГАТУ, 2019. – 148 с.
4. Глинка, Н. Л. Общая химия : учебное пособие / Н. Л. Глинка. – Изд. стереотип. – М. : КНОРУС, 2018. – 750 с.
5. Арабей, С. М. Классификация и номенклатура химических соединений : учебно-методическое пособие / С. М. Арабей, А. А. Нехайчик ; БГАТУ, кафедра химии. – Минск : БГАТУ, 2018. – 56 с.

### *Дополнительная*

1. Гельфман, М. И. Химия : учебник / М. И. Гельфман, В. П. Юстратов. – 4-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2016. – 472 с.
2. Врублевский, А. И. Тренажер по химии : вся химия в задачах и упражнениях с примерами решений / А. И. Врублевский. – 3-е изд., перераб. и доп. – Минск : Красико-Принт, 2009. – 656 с.
3. Сборник задач и упражнений по общей и неорганической химии : учебное пособие / Н. Н. Павлов [и др.] ; под ред. Н. Н. Павлова. – М. : Дрофа, 2005. – 240 с.

Учебное издание

**Арабей** Сергей Михайлович,  
**Слонская** Светлана Викторовна,  
**Лубинский** Николай Николаевич и др.

**ХИМИЯ. СБОРНИК ЗАДАЧ**

Учебно-методическое пособие

Ответственный за выпуск *С. В. Слонская*  
Корректор *Д. О. Михеева*  
Компьютерная верстка *Д. А. Пекарского, Д. О. Михеевой*  
Дизайн обложки *А. А. Покало*

Подписано в печать 01.12.2023 г. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офсетная. Ризография.  
Усл. печ. л. 11,39. Уч.-изд. л. 8,91. Тираж 170 экз. Заказ 280.

Издатель и полиграфическое исполнение:  
учреждение образования  
«Белорусский государственный аграрный технический университет».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий  
№ 1/359 от 09.06.2014.  
№ 2/151 от 11.06.2014.  
Пр-т Независимости, 99–1, 220012, Минск.