

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**И. Б. Бутылина, А. А. Нехайчик**

## **ХИМИЯ. СБОРНИК ЗАДАЧ**

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением по аграрному  
техническому образованию в качестве пособия для студентов  
учреждений высшего образования группы специальностей  
74 06 Агроинженерия и специальности 1-36 12 01 Проектирование  
и производство сельскохозяйственной техники*

Минск  
БГАТУ  
2017

УДК 54(07)  
ББК 24я7  
Б93

Рецензенты:

заведующий кафедрой химии учреждения образования  
«Белорусский государственный педагогический университет  
имени Максима Танка», доктор биологических наук,  
профессор *В. Н. Никандров*;  
доцент кафедры химии, технологии электрохимических производств  
и материалов электронной техники учреждения образования  
«Белорусский государственный технологический университет»,  
кандидат химических наук *А. И. Волков*

**Бутылина, И. Б.**  
Б93 Химия. Сборник задач : пособие / И. Б. Бутылина, А. А. Нехайчик. –  
Минск : БГАТУ, 2017. – 192 с.  
ISBN 978-985-519-849-0.

Пособие включает задачи различных уровней сложности, а также примеры  
решений типовых задач.

Сборник задач предназначен для студентов учреждений высшего образования группы  
специальностей 74 06 Агроинженерия и специальностей: 1-36 12 01 Проектирование  
и производство сельскохозяйственной техники; 1-53 01 01 Автоматизация технологических  
процессов и производств (по направлениям); 1-54 01 01 Метрология, стандартизация  
и сертификация (по направлениям) дневной и заочной форм обучения.

УДК 54(07)  
ББК 24я7

ISBN 978-985-519-849-0

© БГАТУ, 2017

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1. Классификация, номенклатура и получение неорганических веществ.....	5
2. Строение атомов и свойства химических элементов.....	11
3. Химическая связь и строение молекул. Комплексные соединения.....	27
4. Способы выражения состава раствора.....	43
5. Жесткость воды.....	55
6. Энергетика химических процессов.....	62
7. Химическая кинетика и равновесие.....	76
8. Растворы неэлектролитов и электролитов.....	97
9. Гидролиз солей.....	115
10. Грубодисперсные и коллоидные системы.....	125
11. Окислительно-восстановительные реакции.....	129
12. Ряд напряжений металлов. Гальванические элементы.....	136
13. Коррозия металлов и сплавов.....	148
14. Электролиз водных растворов электролитов.....	162
15. Физико-химические свойства углеродородов.....	173
16. Физико-химические свойства полимерных материалов.....	183
Список литературы.....	191

## ВВЕДЕНИЕ

Сборник задач составлен в соответствии с учебной программой по дисциплине «Химия» и предназначен для студентов учреждений высшего образования группы специальностей 74 06 Агроинженерия и специальностей: 1-36 12 01 Проектирование и производство сельскохозяйственной техники; 1-53 01 01 Автоматизация технологических процессов и производств (по направлениям); 1-54 01 01 Метрология, стандартизация и сертификация (по направлениям).

Представленные в сборнике задачи предназначены для активизации подготовки студентов к лабораторным работам и усвоения теоретического материала, а также развития у них навыков самостоятельной работы, творческой инициативы и логического мышления.

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

Сборник включает многочисленный дидактический материал, являющийся результатом совершенствования и адаптации задач к требованиям интенсивно развивающейся химической науки, и представляет собой результат многолетней учебной и научно-методической работы преподавателей кафедры химии.

Данное пособие включает задачи по всем темам учебной дисциплины «Химия». Каждая тема включает в себя: типовые задачи и их решение, задачи предлабораторного контроля различных 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 способ 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 недостатка гидроксида калия с углекислым газом:  $\text{KOH} + \text{CO}_2 = \text{KHCO}_3$ ;

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

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:

$$M_3(\text{кислоты}) = \frac{M}{z},$$

где  $M$  – молярная масса кислоты;

$z$  – число атомов водорода, способных замещаться на атомы металла.

Молярная масса эквивалента вещества может изменяться.

Так, для серной кислоты в реакции получения средней соли:



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

В реакции получения кислой соли:



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

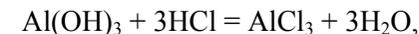
Молярная масса эквивалента основания:

$$M_3(\text{основания}) = \frac{M}{z},$$

где  $M$  – молярная масса основания;

$z$  – число гидроксильных групп, способных замещаться на анион кислотного остатка, вступивших в реакцию.

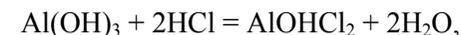
Для реакции получения средней соли:



молярную массу эквивалента рассчитывают по формуле

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

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



составляет:  $M_3(\text{Al(OH)}_3) = 78 / 2 = 39$  г/моль.

Молярная масса эквивалента соли:

$$M_3(\text{соли}) = \frac{M}{z},$$

где  $M$  – молярная масса соли;

$z = B \cdot n$ , где  $B$  – валентность атома металла в составе соли;

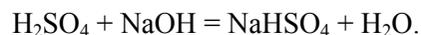
$n$  – число атомов металла.

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

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

3. Составьте уравнение реакции взаимодействия 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 вид:



Соединение	$\text{H}_2\text{SO}_4$	$\text{NaOH}$	$\text{NaHSO}_4$	$\text{H}_2\text{O}$
Класс соединения	Кислота	Гидроксид	Соль (кислая)	Оксид
Название	Серная кислота	Натрий гидроксид	Натрий гидросульфат	Оксид водорода (вода)

Молярная массы эквивалента кислоты равна

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

### Задачи предлабораторного контроля

#### 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 кальция, 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. Степень окисления кислотного остатка (I) в солях: а) сульфид натрия; б) гидросульфит кальция; в) дигидрофосфат натрия; 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 взаимодействия 1 моль оксида серы (IV) с 1 моль гидроксида калия, назовите полученные соединения.

12. Какие из перечисленных кислот образуют кислые соли: HI; H<sub>2</sub>S; H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; HNO<sub>3</sub>? Приведите уравнения двух реакций образования таких солей. Назовите кислые соли.

13. Какие из перечисленных оснований (гидроксидов) образуют основные соли: Ca(OH)<sub>2</sub>; NaOH; Fe(OH)<sub>3</sub>; NH<sub>4</sub>OH? Приведите уравнения двух реакций образования таких солей. Назовите основные соли.

14. Составьте уравнения реакций между кислотами и основаниями, приводящих к образованию солей: NaNO<sub>3</sub>, NaHSO<sub>4</sub>, (ZnOH)<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>. Назовите все соединения в уравнениях реакций.

15. Составьте уравнения реакций между кислотами и основаниями, приводящих к образованию солей: Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, AlOHCl<sub>2</sub>. Назовите все соединения в уравнениях реакций.

### Задачи II уровня

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

2. Определите массу и молярную массу эквивалента осадка, полученного при смешивании 13 г хлорида железа (II) и 15 г гидроксида натрия. Назовите полученные соединения.

3. Определите молярную массу эквивалента ортофосфорной кислоты при ее взаимодействии с гидроксидом натрия химическим количеством 1 моль, 2 моль и 3 моль.

4. Определите молярную массу эквивалента гидроксида железа (II) при его взаимодействии с соляной кислотой химическим количеством 1 моль, 2 моль и 3 моль.

5. Определите молярные массы эквивалентов веществ Mg(OH)<sub>2</sub>, KHCO<sub>3</sub>, HCl, FePO<sub>4</sub>.

### Контрольные задачи

Составьте уравнение реакции взаимодействия веществ, укажите классы всех соединений и назовите их:

1. 1 моль HCl и 1 моль Cu(OH)<sub>2</sub>. Определите M<sub>3</sub>(Cu(OH)<sub>2</sub>).

2. 1 моль H<sub>2</sub>S и 1 моль KOH. Определите M<sub>3</sub>(H<sub>2</sub>S).

3. 1 моль HCl и 1 моль Ca(OH)<sub>2</sub>. Определите M<sub>3</sub>(Ca(OH)<sub>2</sub>).

4. 1 моль H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> и 1 моль Cu(OH)<sub>2</sub>. Определите M<sub>3</sub>(H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>).

5. 1 моль H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и 2 моль NH<sub>4</sub>OH. Определите M<sub>3</sub>(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).

6. 1 моль HNO<sub>3</sub> и 2 моль Cu(OH)<sub>2</sub>. Определите M<sub>3</sub>(Cu(OH)<sub>2</sub>).

7. 1 моль H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> и 2 моль NaOH. Определите M<sub>3</sub>(H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>).

8. 1 моль H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> и 1 моль NaOH. Определите M<sub>3</sub>(H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>).

9. 1 моль CH<sub>3</sub>COOH и 1 моль NaOH. Определите M<sub>3</sub>(CH<sub>3</sub>COOH).

10. 1 моль HCl и 2 моль Ni(OH)<sub>2</sub>. Определите M<sub>3</sub>(Ni(OH)<sub>2</sub>).

11. 2 моль HNO<sub>3</sub> и 1 моль Fe(OH)<sub>2</sub>. Определите M<sub>3</sub>(Fe(OH)<sub>2</sub>).

12. 2 моль HCl и 1 моль Cu(OH)<sub>2</sub>. Определите M<sub>3</sub>(Cu(OH)<sub>2</sub>).

13. 1 моль H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> и 1 моль Al(OH)<sub>3</sub>. Определите M<sub>3</sub>(Al(OH)<sub>3</sub>).

14. 1 моль H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и 1 моль Zn(OH)<sub>2</sub>. Определите M<sub>3</sub>(Zn(OH)<sub>2</sub>).

15. 3 моль HCl и 1 моль Cr(OH)<sub>3</sub>. Определите M<sub>3</sub>(Cr(OH)<sub>3</sub>).

16. 1 моль HBr и 1 моль Mg(OH)<sub>2</sub>. Определите M<sub>3</sub>(Mg(OH)<sub>2</sub>).

17. 1 моль HI и 2 моль Fe(OH)<sub>3</sub>. Определите M<sub>3</sub>(Fe(OH)<sub>3</sub>).

18. 1 моль H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> и 2 моль NaOH. Определите M<sub>3</sub>(H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>).

19. 1 моль H<sub>2</sub>S и 2 моль KOH. Определите M<sub>3</sub>(H<sub>2</sub>S).

20. 1 моль H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> и 1 моль Fe(OH)<sub>2</sub>. Определите M<sub>3</sub>(H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>).

21. 1 моль HNO<sub>2</sub> и 1 моль Ni(OH)<sub>2</sub>. Определите M<sub>3</sub>(Ni(OH)<sub>2</sub>).

22. 1 моль HF и 1 моль Sn(OH)<sub>2</sub>. Определите M<sub>3</sub>(Sn(OH)<sub>2</sub>).

23. 1 моль H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и 1 моль Cu(OH)<sub>2</sub>. Определите M<sub>3</sub>(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).

24. 1 моль H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> и 2 моль Cr(OH)<sub>2</sub>. Определите M<sub>3</sub>(Cr(OH)<sub>2</sub>).

25. 1 моль HCl и 1 моль Mn(OH)<sub>2</sub>. Определите M<sub>3</sub>(Mn(OH)<sub>2</sub>).

26. 2 моль HBr и 1 моль Ba(OH)<sub>2</sub>. Определите M<sub>3</sub>(Ba(OH)<sub>2</sub>).

27. 1 моль HNO<sub>3</sub> и 1 моль Zn(OH)<sub>2</sub>. Определите M<sub>3</sub>(HNO<sub>3</sub>).

28. 1 моль HCl и 1 моль Cu(OH)<sub>2</sub>. Определите M<sub>3</sub>(Cu(OH)<sub>2</sub>).

29. 1 моль H<sub>2</sub>S и 2 моль NH<sub>4</sub>OH. Определите M<sub>3</sub>(H<sub>2</sub>S).

30. 1 моль H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> и 3 моль KOH. Определите M<sub>3</sub>(H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>).

## 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:  $0, 1, 2, \dots, (n - 1)$ , 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 значения:

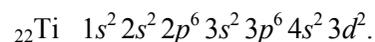
при  $l = 0$  ( $s$ -подуровень):  $m_l = 0$ ;

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

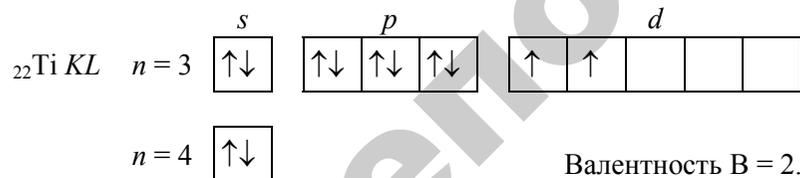
при  $l = 2$  ( $d$ -подуровень):  $m_l = -2, -1, 0, +1, +2$ .

2. Напишите полную электронную формулу и сокращенные 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.

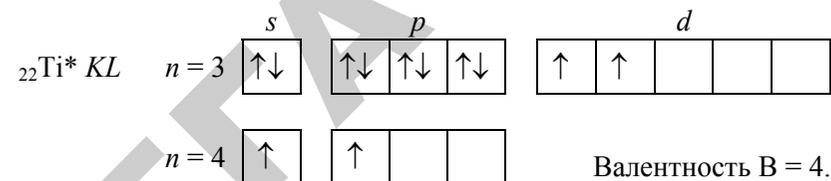
**Решение.** Элементом с порядковым номером 22 является титан (Ti). Электронная формула имеет вид:



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



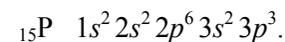
При возбуждении распариванию подвергаются электроны только внешнего ( $n = 4$ ) уровня. Тогда в возбужденном состоянии электронно-графическая схема выглядит так:



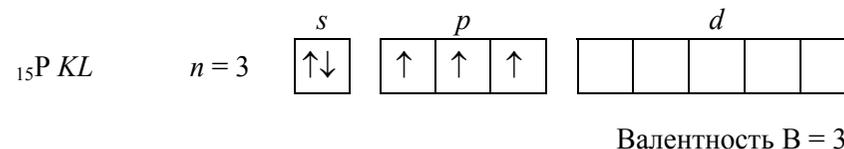
Титан относится к  $d$ -семейству, т. к. у него последним заполняется  $d$ -подуровень. Конкурирующими подуровнями являются  $4s$  и  $3d$ . Титан находится в четвертом периоде, т. к. заполняется четвертый энергетический уровень (максимальное значение  $n$  равно 4); в четвертой группе: сумма электронов 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). Электронная формула имеет вид:

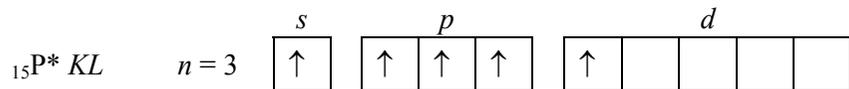


Фосфор имеет следующую электронно-графическую схему в нормальном состоянии:



Количество валентных (неспаренных) электронов равно 3 – спин-валентность  $V = 3$ .

В возбужденном состоянии электронно-графическая схема выглядит следующим образом:

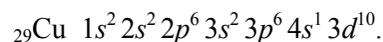


Валентность  $V = 5$ .

Количество валентных электронов равно 5, следовательно, спин-валентность атома фосфора в возбужденном состоянии  $V = 5$ .

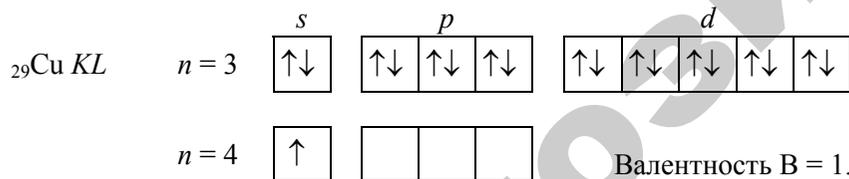
4. Напишите полную электронную формулу элемента с порядковым номером 29. Какая аномалия наблюдается в электронной структуре атома этого элемента, чем она объясняется? К какому электронному семейству принадлежит данный элемент? Почему?

**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:

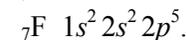


Элемент относится к  $d$ -семейству, т. к. последним заполняется  $3d$ -подуровень. Возбужденного состояния медь не имеет: на внешнем энергетическом уровне находится всего один электрон, поэтому способность к распариванию отсутствует.

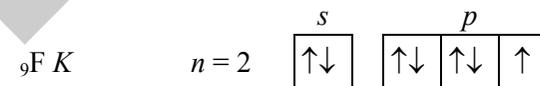
5. Объясните, почему фтор всегда имеет валентность равную 1, а хлор проявляет переменную нечетную валентность от 1 до 7?

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

Электронная формула атома фтора имеет вид:



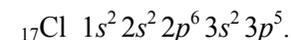
Электронно-графическая схема в нормальном состоянии:



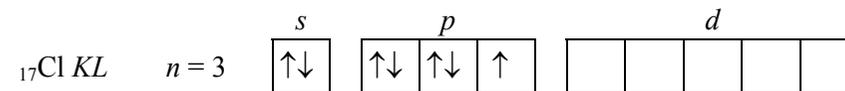
Валентность  $V = 1$ .

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:

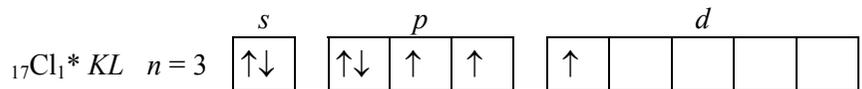


Валентность  $V = 1$ .

В нормальном состоянии хлор имеет один неспаренный электрон, т. е. его валентность  $V = 1$ .

У хлора могут быть возбужденные состояния, поскольку последним заполняется третий энергетический уровень, который имеет  $s$ -,  $p$ -,  $d$ - энергетические подуровни. На  $d$ -подуровне есть свободные

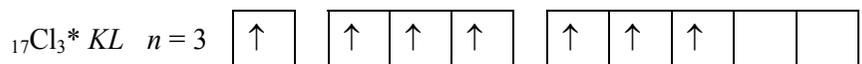
атомные орбитали (ячейки), которые при возбуждении атома могут занять электроны с  $3s$ - и  $3p$ - подуровней:



Валентность  $V = 3$ .



Валентность  $V = 5$ .



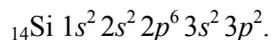
Валентность  $V = 7$ .

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

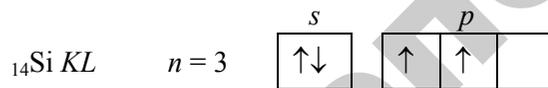
6. Охарактеризуйте свойства кремния по его положению в таблице Д. И. Менделеева.

**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:

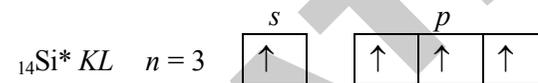


Электронно-графическая схема в нормальном состоянии:



Валентность  $V = 2$ .

Электронно-графическая схема в возбужденном состоянии:



Валентность  $V = 4$ .

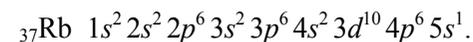
Валентные электроны находятся на  $s$ - и  $p$ - подуровнях третьего энергетического уровня. Кремний проявляет в нормальном состоянии валентность равную 2, а в возбужденном – 4 (количество неспаренных электронов).

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, поскольку до завершения последнего энергетического уровня ему не хватает 4 электронов.

Такой же вывод можно сделать на основании того, что в пределах одного периода слева направо восстановительные (металлические) свойства ослабевают, а окислительные (неметаллические) – усиливаются (за счет увеличения количества электронов на внешнем уровне, уменьшения радиуса, увеличения энергии ионизации и энергии сродства к электрону).

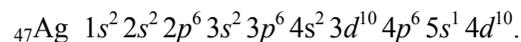
7. У элементов 5 периода I группы с порядковыми номерами 37 и 47 имеется одинаковая электронная конфигурация внешнего уровня  $5s^1$ . Почему эти элементы находятся в разных подгруппах? Ответ мотивируйте электронными формулами атомов этих элементов. Определите принадлежность данных элементов к электронному семейству. Какими свойствами обладают атомы этих элементов?

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



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:

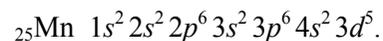


Серебро находится в побочной подгруппе, т. к. идет заполнение внешнего и предвнешнего энергетических уровней (конкурирующие подуровни). У серебра наблюдается «провал» электрона с  $5s$ - на  $4d$ -подуровень, что объясняется более выгодным энергетическим состоянием атома (минимальный запас энергии).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

Эти элементы обладают восстановительными свойствами (металлическими), т. к. на внешнем энергетическом уровне имеют по одному электрону, который они способны легко отдать.

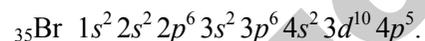
**8.** Марганец (Mn) и бром (Br) находятся в 4 периоде, в VII группе. На основании электронных формул атомов этих элементов определите их принадлежность к электронным семействам. Объясните, почему эти элементы находятся в разных подгруппах и обладают противоположными свойствами?

**Решение.** Электронная формула марганца:



Он принадлежит к  $d$ -семейству, находится в побочной подгруппе (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 брома:



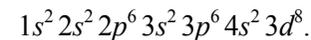
Он принадлежит к  $p$ -семейству, находится в главной подгруппе, т. к. у него идет заполнение электронами последнего четвертого уровня ( $4s^2 4p^5$ ). Бром до завершения  $4p$ -подуровня необходим

1 электрон, который он легко присоединяет и, следовательно, проявляет окислительные (неметаллические) свойства.

**9.** Запишите полную электронную формулу атома элемента, которая заканчивается в нормальном состоянии электронной конфигурацией, отраженной следующими квантовыми числами:  $n = 3$ ;  $l = 2$ ;  $m_l = -2, -1, 0, +1, +2$ ;  $m_s = +1/2, +1/2, +1/2, +1/2, -1/2, -1/2, -1/2$ .

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 полную электронную формулу:

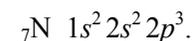


Сумма всех электронов у данного атома равна 28, что соответствует порядковому номеру элемента. Этим элементом является никель.

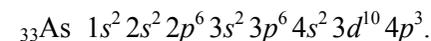
Никель расположен в 4 периоде (максимальное значение  $n$  равно 4), VIII группе, побочной подгруппе (заполняются конкурирующие энергетические подуровни). Относится к  $d$ -семейству. Обладает восстановительными (металлическими) свойствами, т. к. на внешнем четвертом уровне имеет 2 электрона и способен легко их отдавать.

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

**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 ( $E_{и}(N) = 14,54$  эВ), чем от атома мышьяка ( $E_{и}(As) = 9,81$  эВ).

### **Задачи предлабораторного контроля**

#### **Задачи I уровня**

1. Запишите электронную формулу атома железа и объясните, исходя из электронного строения, принадлежность железа к четвертому периоду, восьмой группе, побочной подгруппе,  $d$ -электронному семейству. Составьте электронно-графическую схему атома железа в нормальном состоянии.

2. Запишите электронную формулу атома алюминия и объясните, исходя из электронного строения, принадлежность алюминия к третьему периоду, третьей группе, главной подгруппе,  $p$ -электронному семейству. Составьте электронно-графическую схему атома алюминия в нормальном состоянии.

3. Объясните возможные валентности атома железа, исходя из электронного строения. Составьте электронную формулу и электронно-графические схемы атома в нормальном и возбужденном состояниях.

4. Объясните возможные валентности атома алюминия, исходя из электронного строения. Составьте электронную формулу и электронно-графические схемы атома в нормальном и возбужденном состояниях.

5. Запишите и сравните уравнения реакций концентрированной азотной кислоты с железом и алюминием. Можно ли перевозить холодную концентрированную азотную кислоту в железной (стальной) или алюминиевой таре?

6. Запишите уравнения реакций железа с азотной кислотой различной концентрации, назовите полученные соединения.

7. Можно ли перевозить холодную концентрированную серную кислоту в железной (стальной) или алюминиевой таре? Запишите уравнения реакций взаимодействия концентрированной серной кислоты при нагревании с железом и алюминием.

8. Сравните действие концентрированной серной кислоты при нагревании на железо и алюминий. Запишите соответствующие уравнения реакций. Какая из кислот действует на алюминий сильнее: концентрированная серная кислота при нагревании или разбавленная соляная кислота?

9. Запишите уравнения реакций железа и алюминия с разбавленными соляной и серной кислотами. Сравните продукты реакций, образующиеся при взаимодействии этих металлов с разбавленной и концентрированной (при нагревании) серной кислотой.

10. Какими свойствами обладают оксид и гидроксид железа (II)? Запишите уравнения соответствующих реакций.

11. Что такое алюминотермия и для чего ее применяют? Запишите соответствующие уравнения реакций.

12. Запишите уравнения реакций получения гидроксидов алюминия и железа (со степенью окисления +2 и +3). Можно ли получить гидроксид алюминия при взаимодействии алюминия с водным раствором гидроксида калия – КОН? Составьте уравнение данной реакции.

13. Объясните, почему алюминий при комнатной температуре не взаимодействует с водой? Поясните ответ, написав соответствующие уравнения реакций.

14. Какую высшую степень окисления проявляет железо? Запишите уравнение реакции получения соединения, в котором железо проявляет высшую степень окисления. Назовите соединение  $Na_2FeO_4$  и определите степень окисления железа в нем.

15. Как подвергаются гидролизу соли алюминия? Поясните ответ уравнениями гидролиза по первой ступени.

#### **Задачи II уровня**

1. Обладают ли алюминий и его соединения амфотерными свойствами? Поясните ответ, написав соответствующие уравнения реакций.

2. Запишите уравнения реакций железа с галогеном, например, хлором и концентрированной соляной кислотой. Сравните эти реакции.

3. Определите в комплексном соединении  $K_3[Fe(CN)_6]$  заряд комплексного иона, степень окисления иона-комплексообразователя, лиганды и координационное число. Назовите приведенное комплексное соединение.

4. Как можно получить соли метаалюминиевой –  $HAIO_2$  (алюминаты) и железистой –  $HFeO_2$  (ферриты) кислот? Какими ценными свойствами обладают ферриты? Поясните ответ, написав соответствующие уравнения реакций.

5. Определите в комплексном соединении  $Na[Al(OH)_4]$  заряд комплексного иона, степень окисления иона-комплексообразователя, лиганды и координационное число. Назовите приведенное комплексное соединение.

6. Приведите соединения железа, обладающие амфотерными свойствами. Запишите уравнения реакций, поясняющие ответ.

7. Запишите уравнения реакций алюминия со щелочью: а) в растворе; б) в расплаве. Взаимодействует ли железо со щелочью? Запишите соответствующие уравнения реакций.

### Контрольные задачи

1. Литий и калий находятся в главной подгруппе I группы Периодической системы. Запишите электронные формулы и электронно-графические схемы атомов этих элементов. Объясните, почему атомы этих элементов не имеют возбужденного состояния. 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 электронные формулы

и электронно-графические схемы атомов этих элементов в нормальном состоянии. К каким электронным семействам они относятся? Запишите электронно-графические схемы этих атомов в возбужденном состоянии. 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. К какому электронному семейству они принадлежат? Определите спин-валентность атомов элементов в нормальном и возбужденном состояниях. 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  $s^2p^5$ . Исходя из строения атомов этих элементов, их радиусов, электроотрицательностей, объясните: 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 электронно-графические схемы атомов фтора и брома 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 спин-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:  $s^2p^2$ . 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. Определите спин-валентность данных атомов 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 спин-валентность этих атомов в возбужденном состоянии? Поясните, написав электронно-графические схемы атомов. 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 спин-валентность равную 2, а селен может иметь спин-валентность равную: 2, 4, 6? Объясните, написав электронные формулы и электронно-графические схемы атомов данных элементов. Как изменяются радиусы и свойства атомов элементов в главной подгруппе VI группы?

14. Марганец и хлор находятся в VII группе, но в разных подгруппах. Почему? Объясните, написав электронные формулы атомов данных элементов. К каким электронным семействам относятся мар-

ганец и хлор? Определите спин-валентность этих атомов в нормальном и возбужденном состояниях, написав электронно-графические схемы атомов. Какими свойствами обладают атомы марганца и хлора? 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 атомов, радиусов атомов, электроотрицательностей.

19. На примере *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:  $\text{Li} \rightarrow \text{F} \rightarrow \text{Na}$ . Напишите их электронные формулы. Как у них изменяются радиусы, электроотрицательности, окислительные и восстановительные свойства? Почему? Объясните, почему атомы этих элементов не имеют возбужденного состояния. Определите спин-валентность атомов данных элементов с использованием электронно-графических схем.

21. Электронная формула 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 нор-

мальном и возбужденном состояниях, записав электронно-графические схемы. Какими свойствами обладает атом этого элемента и почему?

**22.** Запишите полную электронную формулу атома элемента, электронная конфигурация 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?

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

**24.** В электронной структуре внешних уровней атомов различных элементов имеются электронные конфигурации: а)  $5s^25p^4$ ; б)  $4d^55s^1$ . 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.** Электронная формула 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?

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

**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 примерами  $d$ -элементов четвертого периода Периодической системы, написав электронные формулы и электронно-графические схемы атомов данных элементов в нормальном состоянии.

**30.** Как изменяются свойства атомов элементов с увеличением порядковых номеров в периодах и главных подгруппах Периодической системы? Ответ подтвердите примерами  $p$ -элементов III группы и элементов второго периода Периодической системы, написав их электронные формулы и электронно-графические схемы в нормальном состоянии.

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

#### Типовые задачи и их решения

1. Определите тип связи в следующих молекулах: KCl и AgCl. Объясните механизм образования этих связей.

**Решение.** 1. Природа атомов элементов: K – щелочной металл, *s*-семейство; Ag – металл, *d*-семейство; Cl – неметалл, *p*-семейство.

2. Величины относительной электроотрицательности (ОЭО) атомов: ОЭО (K) = 0,91; ОЭО (Ag) = 1,42; ОЭО (Cl) = 2,83.

Определяем разность ОЭО атомов, составляющих молекулу KCl:

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

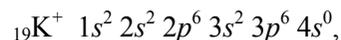
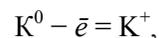
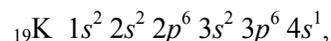
следовательно, связь ионная.

Для молекулы AgCl

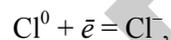
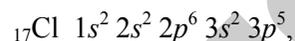
$$\Delta\text{ОЭО} = 2,83 - 1,42 = 1,41; 0,4 < \Delta\text{ОЭО} < 1,7,$$

следовательно, связь ковалентная полярная.

*Механизм образования ионной связи*



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



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

Механизм ионной связи – перераспределение валентных электронов; ее свойствами являются ненасыщаемость и ненаправленность. Вещество имеет кристаллическую решетку ионного типа, которая схематически может быть представлена следующим образом (рис. 1):

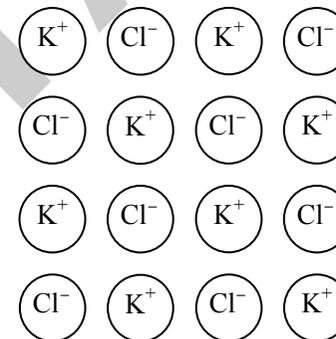
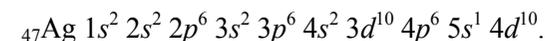


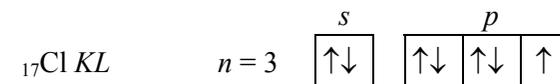
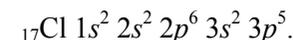
Рис. 1. Схема кристаллической решетки ионного типа на примере KCl

*Механизм образования ковалентной связи*

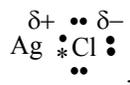
Атом серебра имеет «провал» электрона с 5*s*- на 4*d*-подуровень:



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



Ковалентная связь образуется посредством обобществления неспаренных электронов, принадлежащих разным атомам, в общую электронную пару, которая смещена к хлору, т. к. ОЭО (Cl) больше ОЭО (Ag):



где \* – неспаренный электрон атома серебра;

• – электроны последнего уровня атома хлора, в т. ч. и неспаренный.

Свойства ковалентной связи – насыщенность и направленность.

2. Определите тип связи в молекуле  $\text{AlBr}_3$ . Объясните механизм образования связи и ее свойства. Какой тип гибридизации приводит к образованию молекулы  $\text{AlBr}_3$ ?

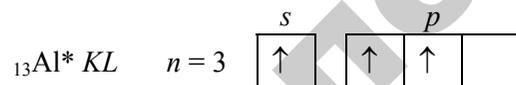
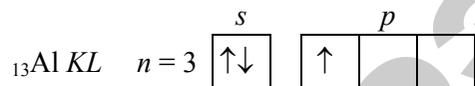
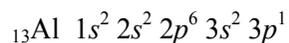
**Решение.** 1. Природа атомов элементов: Al – металл,  $p$ -семейство; Br – неметалл,  $p$ -семейство.

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

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

$$\Delta\text{ОЭО} = 2,74 - 1,47 = 1,27; 0,4 < \Delta\text{ОЭО} < 1,7,$$

следовательно, связи ковалентные полярные; общие электронные пары смещены к более электроотрицательному элементу – брому. На атоме алюминия возникает эффективный положительный ( $3\delta^+$ ), а на атомах брома – эффективные отрицательные ( $\delta^-$ ) заряды.



Тип гибридизации –  $sp^2$  (рис. 2):

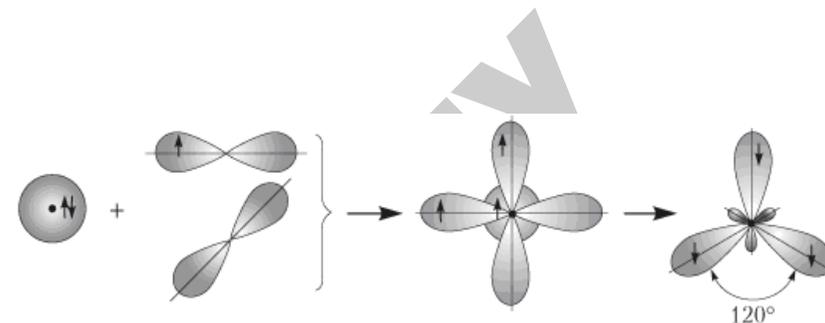
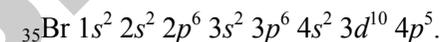


Рис. 2. Схема  $sp^2$ -гибридизации

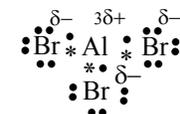
Электронная формула атома брома:



Электронно-графическая схема в нормальном состоянии имеет вид:



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



Свойства:

1) насыщенность (ковалентность) равна 3, т. к. образовались три общие пары электронов;

2) направленность определяет треугольную форму молекулы (рис. 3):

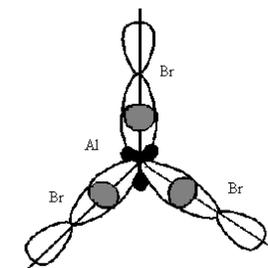


Рис. 3. Треугольная форма молекулы  $\text{AlBr}_3$

3. Определите тип связи в молекуле  $\text{SbH}_3$  и ее форму. Какая связь возникает между молекулами  $\text{NH}_3$ ? Почему эта связь не возникает между молекулами  $\text{SbH}_3$ ?

**Решение.** 1. Природа атомов элементов: Sb – неметалл, *p*-семейство; H – неметалл, *s*-семейство; N – неметалл, *p*-семейство.

2. Величины относительной электроотрицательности (ОЭО) атомов: ОЭО (Sb) = 1,82; ОЭО (H) = 2,1; ОЭО (N) = 3,07.

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

$$\Delta\text{ОЭО} = 2,1 - 1,82 = 0,28 < 0,4,$$

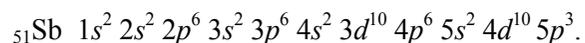
следовательно, связи ковалентные неполярные.

Для молекулы  $\text{NH}_3$

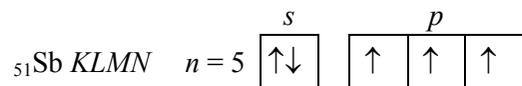
$$\Delta\text{ОЭО} = 3,07 - 2,1 = 0,97 > 0,4,$$

следовательно, связи ковалентные полярные.

Электронная формула атома сурьмы имеет вид:



Электронно-графическая схема:



Форма молекулы пирамидальная (рис. 4):

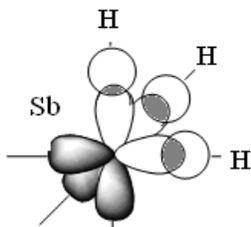
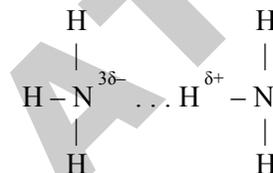


Рис. 4. Пирамидальная форма молекулы  $\text{SbH}_3$

Между молекулами  $\text{NH}_3$  возникает водородная связь:



Водородная связь возникает между катионом водорода  $\text{H}^+$  одной молекулы и сильно электроотрицательным атомом азота N другой молекулы.

Поскольку в молекуле  $\text{SbH}_3$  имеется ковалентная неполярная связь, и нет сильно электроотрицательного атома (N, O, F), то между молекулами  $\text{SbH}_3$  не возникает водородная связь.

4. Определите тип связи в соединении  $\text{V}_2\text{O}_5$  и в металлическом ванадии. Сравните строение этих соединений.

**Решение.** 1. Природа атомов элементов: V – металл, *d*-семейство; O – неметалл, *p*-семейство.

2. Величины относительной электроотрицательности (ОЭО) атомов: ОЭО (V) = 1,45; ОЭО (O) = 3,5.

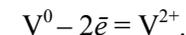
Определяем разность ОЭО атомов, образующих химические связи в молекуле  $\text{V}_2\text{O}_5$ :

$$\Delta\text{ОЭО} = 3,5 - 1,45 = 2,05 > 1,7,$$

следовательно, связь ионная.

Соединение  $\text{V}_2\text{O}_5$  имеет кристаллическую решетку ионного типа.

В металлическом ванадии – связь металлическая:



Схематическое изображение кристаллических решеток ионного и металлического типа представлены ниже (рис. 5).

В ионном кристалле в узлах находятся катионы и анионы, чередующиеся друг с другом.

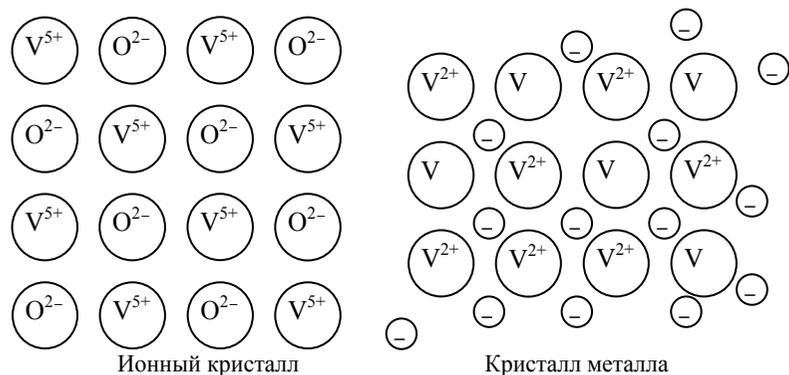


Рис. 5. Схемы кристаллических решеток

В кристалле металла в узлах находятся атомы и ионы. Атомы легко превращаются в ионы, отдавая свои валентные электроны в общее пользование. Межатомное пространство заполняют «свободно» перемещающиеся электроны, осуществляющие химическую связь этих частиц.

5. Охарактеризуйте вид межмолекулярных взаимодействий при растворении в воде сероводорода  $H_2S$  и кислорода  $O_2$ .

**Решение.** 1. Природа атомов элементов: Н – неметалл,  $s$ -семейство; О – неметалл,  $p$ -семейство; S – неметалл,  $p$ -семейство.

2. Величины относительной электроотрицательности (ОЭО) атомов: ОЭО (Н) = 2,1; ОЭО (О) = 3,5; ОЭО (S) = 2,6.

Определяем разность ОЭО атомов, образующих химические связи в молекулах  $H_2S$  и  $H_2O$ :

$$\Delta OЭО (H - S) = 2,6 - 2,1 = 0,5 > 0,4;$$

$$\Delta OЭО (H - O) = 3,5 - 2,1 = 1,4 > 0,4,$$

следовательно, связи в молекулах ковалентные полярные. В молекуле  $O_2$  связь ковалентная неполярная, т. к.  $\Delta OЭО (O - O) = 3,5 - 3,5 = 0$ .

При растворении в воде сероводорода, между двумя полярными молекулами ( $H_2O$  и  $H_2S$ ), возникает ориентационное межмолекулярное взаимодействие (рис. 6).

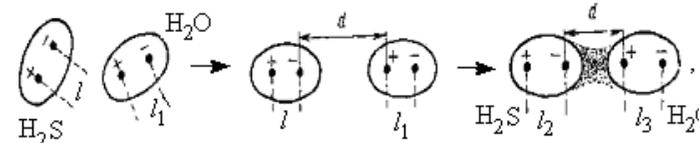


Рис. 6. Схема возникновения ориентационного межмолекулярного взаимодействия

При растворении в воде кислорода, между полярной ( $H_2O$ ) и неполярной ( $O_2$ ) молекулами, возникает индукционное межмолекулярное взаимодействие (рис. 7).

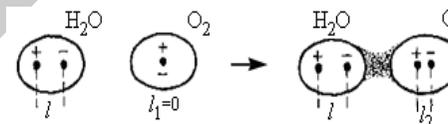
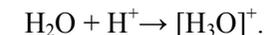


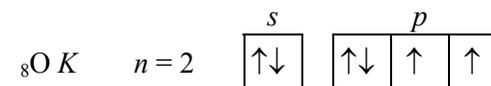
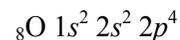
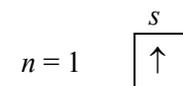
Рис. 7. Схема возникновения индукционного межмолекулярного взаимодействия

6. Покажите механизм образования иона гидроксония  $[H_3O]^+$ .

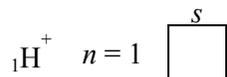
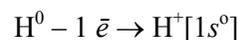
**Решение.** Ион гидроксония образуется по схеме



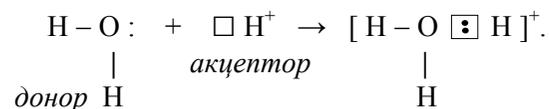
Электронные формулы и электронно-графические схемы атомов водорода, кислорода и катиона водорода:



Атом водорода теряет электрон, образуя катион по 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:



7. Вода имеет anomalно высокие температуры кипения и замерзания. Объясните, чем это вызвано?

**Решение.** 1. Определяем тип связи в молекуле воды. Природа атомов элементов: H – неметалл, s-семейство; O – неметалл, p-семейство. Величины относительной электроотрицательности (ОЭО) атомов: ОЭО (H) = 2,1; ОЭО (O) = 3,5.

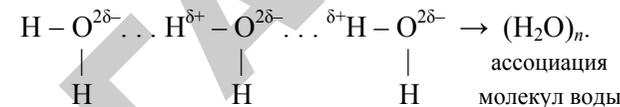
Определяем разность ОЭО атомов:

$$\Delta OЭО = 3,5 - 2,1 = 1,4; \Delta OЭО > 0,4,$$

следовательно, связи в молекуле ковалентные полярные.

2. Молекула воды трехатомная, имеет в своем составе две одинаковые полярные связи O–H. Атом кислорода, обладающий высокой электроотрицательностью, в значительной степени смещает к себе валентный электрон атома водорода, лишая его электронного облака ( $\Delta OЭО = 1,4$ ). В результате возникают два вида взаимодействия: 1) электростатическое – между атомом водорода, несущего положительный заряд, одной молекулы воды и атомом кислорода с противоположным зарядом другой молекулы воды; 2) взаимодействие по донорно-акцепторному механизму за счет частично

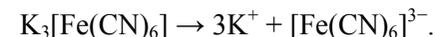
свободной орбитали атома водорода одной молекулы воды и неподеленной электронной пары атома кислорода другой молекулы воды. Между молекулами воды реализуется специфический вид межмолекулярных взаимодействий – водородная связь по схеме



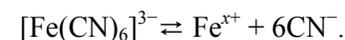
В результате возникновения большого числа межмолекулярных водородных связей образуются ассоциаты воды. Наличие в водной среде ассоциатов приводит к anomalно высоким температурам кипения и замерзания.

8. Определите ион-комплексообразователь, 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  $Fe^{x+}$  является ионом-комплексообразователем, который связан с лигандами-анионами  $CN^-$ , образуя внутреннюю координационную сферу. Координационное число – число лигандов, окружающих ион-комплексообразователь, равно 6. Для определения степени окисления запишем общую реакцию вторичной диссоциации комплексного аниона  $[Fe(CN)_6]^{3-}$ :



Рассчитаем степень окисления иона-комплексообразователя, исходя из равенства алгебраической суммы зарядов в правой и левой частях уравнения:

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

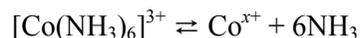
Степень окисления железа в комплексном соединении равна +3.

9. Определите ион-комплексобразователь, его степень окисления и координационное число в комплексном соединении  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$ .

**Решение.** В соединении  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$  внутренняя координационная сфера является катионом (комплексный катион). Процесс первичной диссоциации записывается в следующем виде:



Центральный ион  $\text{Co}^{x+}$  является ионом-комплексобразователем, который связан с лигандами-молекулами  $\text{NH}_3$ , образуя внутреннюю координационную сферу. Координационное число – число лигандов, окружающих ион-комплексобразователь, равно 6. Для определения степени окисления запишем общую реакцию вторичной диссоциации комплексного катиона  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$ :



и рассчитаем степень окисления иона-комплексобразователя, исходя из равенства алгебраической суммы зарядов в правой и левой частях уравнения:

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

Степень окисления кобальта в комплексном соединении равна +3.

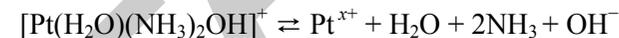
10. Определите ион-комплексобразователь, его степень окисления и координационное число в комплексном соединении  $[\text{Pt}(\text{H}_2\text{O})(\text{NH}_3)_2\text{OH}]\text{Br}$ .

**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  $\text{Pt}^{x+}$  является ионом-комплексобразователем, который связан с лигандами: молекулами  $\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{NH}_3$ , анионом  $\text{OH}^-$ ,

образуя внутреннюю координационную сферу. Координационное число – число лигандов, окружающих ион-комплексобразователь, равно сумме  $1 + 2 + 1 = 4$ . Для определения степени окисления запишем общую реакцию вторичной диссоциации комплексного катиона  $[\text{Pt}(\text{H}_2\text{O})(\text{NH}_3)_2\text{OH}]^+$ :



и рассчитаем степень окисления иона-комплексобразователя, исходя из равенства алгебраической суммы зарядов в правой и левой частях уравнения:

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

Степень окисления платины в комплексном соединении равна +2.

### *Задачи предлабораторного контроля*

#### **Задачи I уровня**

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

1.  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ .
2.  $\text{K}_3[\text{Al}(\text{OH})_6]$ .
3.  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{Cl}]\text{SO}_4$ .
4.  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_2$ .
5.  $[\text{Au}(\text{CN})_2(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}$ .
6.  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4](\text{NO}_3)_2$ .
7.  $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_4\text{SO}_4]\text{Br}_2$ .
8.  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ .
9.  $\text{K}[\text{Au}(\text{CN})_4]$ .
10.  $\text{K}_3[\text{Cu}(\text{CN})_4]$ .
11.  $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_3(\text{NH}_3)_3]\text{Cl}_3$ .
12.  $[\text{Cr}(\text{NH}_3)_5\text{PO}_4]$ .
13.  $\text{Na}_2[\text{Ni}(\text{CN})_4]$ .
14.  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_3(\text{NO}_2)_3]$ .
15.  $\text{K}[\text{Au}(\text{NO}_3)_4]$ .

## Задачи II уровня

1. Запишите реакции диссоциации комплексного соединения  $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_4\text{SO}_4]\text{Br}_2$  и комплексного иона.

2. Какая ковалентная связь называется  $\pi$ -связью? Какой тип связи реализуется в молекуле  $\text{N}_2$ ? 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  $\text{BF}_4^-$  ( $\text{BF}_3 + \text{F}^-$ )? 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.

## 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  $\text{MnBr}_2$ . Объясните механизм ее образования и свойства. Покажите графически форму молекулы. Определите тип гибридизации.

8. Определите тип связи в молекуле  $\text{GeCl}_4$ , тип гибридизации. Объясните механизм ее образования и свойства. Покажите графически форму молекулы.

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

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

11. Определите тип связи в молекуле  $\text{AsH}_3$ . Покажите механизм ее образования. Объясните свойства этой связи: насыщенность и направленность.

12. Определите типы связей в соединении  $\text{FeF}_2$  и металлическом железе. Объясните механизм образования этих связей. Покажите соответствующие кристаллические решетки.

13. Определите тип связи в молекуле  $\text{SnCl}_4$ , тип гибридизации. Объясните механизм ее образования, свойства. Покажите графически форму молекулы.

14. Одинаковую ли геометрическую форму имеют молекулы  $\text{BCl}_3$  и  $\text{PCl}_3$ ? Покажите графически формы молекул. На основании разности относительных электроотрицательностей и формы молекул сравните их полярность.

15. Определите тип связи в молекуле  $\text{Cl}_2$ . 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<sub>2</sub>S. 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<sub>2</sub>. Покажите механизм ее образования с учетом того, что один из атомов претерпевает гибридизацию атомных орбиталей. Объясните свойства этой связи.

20. Определите тип связи в молекуле BI<sub>3</sub>. Покажите механизм ее образования с учетом того, что один из атомов претерпевает гибридизацию атомных орбиталей. Объясните свойства этой связи.

21. Определите тип связи в молекуле SiH<sub>4</sub>. Покажите механизм ее образования с учетом того, что один из атомов претерпевает гибридизацию атомных орбиталей. Объясните свойства этой связи.

22. Определите тип связи в соединении CaI<sub>2</sub>. Объясните механизм ее образования, свойства. Покажите графически кристаллическую решетку.

23. Определите тип связи в молекулах: HI, HBr, HCl. Для молекулы, имеющей наибольший дипольный момент (используйте величины ОЭО), покажите механизм образования связи, ее свойства, написав электронные формулы и схемы атомов, составляющих данную молекулу.

24. Определите типы связей в соединении NiF<sub>2</sub> и металлическом никеле. Объясните механизм образования этих связей. Покажите соответствующие кристаллические решетки.

25. Определите типы связей в соединениях HF и NaF. Объясните механизм образования ионной связи. Покажите графически кристаллическую решетку. Что отличает данные связи?

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

27. Определите тип связи в соединении MgF<sub>2</sub>. Объясните механизм ее образования, свойства. Покажите графически кристаллическую решетку.

28. Определите тип связи в молекуле TiCl<sub>4</sub>. 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 NCl<sub>3</sub> и BCl<sub>3</sub>. Объясните механизмы их образования. Определите формы молекул с учетом того, что один из атомов, образующих молекулу, претерпевает гибридизацию атомных орбиталей.

30. Объясните донорно-акцепторный механизм образования связи на примере молекулы хлорида аммония NH<sub>4</sub>Cl.

#### 4. СПОСОБЫ ВЫРАЖЕНИЯ СОСТАВА РАСТВОРА

##### Типовые задачи и их решения

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

<p><b>Дано:</b>  <math>V_{\text{р-ра}} = 200 \text{ см}^3</math>,  <math>C_3(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,2 \text{ моль/дм}^3</math>  <math>m(\text{Na}_2\text{CO}_3) - ?</math></p>	<p><b>Решение</b>                  Молярная концентрация эквивалента <math>\text{Na}_2\text{CO}_3</math> в растворе равна:  <math display="block">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}}}</math></p>
---	--

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  $106 \text{ г/моль}$ ;  
 $B$  – 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, необходимую для приготовления  $300 \text{ см}^3$  раствора с массовой долей  $\omega(\text{NaOH})$ , равной  $18 \%$ , плотностью  $\rho_{\text{р-ра}}$ , равной  $1,2 \text{ г/см}^3$ ?

<p><b>Дано:</b>  <math>V_{\text{р-ра}} = 300 \text{ см}^3</math>  <math>\omega(\text{NaOH}) = 18 \%</math>  <math>\rho_{\text{р-ра}} = 1,2 \text{ г/см}^3</math>  <math>m(\text{NaOH}) - ?</math></p>	<p><b>Решение</b>                  По определению  <math display="block">\omega = \frac{m_{\text{в-ва}}}{m_{\text{р-ра}}} \cdot 100 \%</math></p>
---	---

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

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

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

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

<p><b>Дано:</b>  <math>V(\text{H}_2\text{O}) = 400 \text{ см}^3</math>  <math>m(\text{CaCl}_2) = 22,2 \text{ г}</math>  <math>C_m(\text{CaCl}_2) - ?</math></p>	<p><b>Решение</b>                  Моляльность вещества в растворе определяется по формуле:</p>
---	---

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

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

$m_{\text{р-ля}}$  – масса растворителя, г;

$1000$  – коэффициент перевода г в кг.

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

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

Подставляем значения в формулу:

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

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

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

**Дано:**

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

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

**Решение**

Молярную долю растворенного вещества в растворе определяем 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,  $m(\text{H}_2\text{O}) = 100 - 20 = 80 \text{ г}$ .

Тогда

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

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

Откуда

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

*Ответ:*  $\chi = 7,0 \%$ .

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

**Дано:**

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

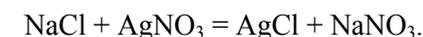
$$C_3(\text{AgNO}_3) = 0,16 \text{ моль/дм}^3$$

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

$$V_{\text{р-ра}}(\text{NaCl}) = ?$$

**Решение**

Вещества реагируют в эквивалентных количествах:



Следовательно, по закону эквивалентов имеем соотношение:

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

Откуда

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

Подставляя численные значения, имеем

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

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

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

**Дано:**

$$V_{\text{р-ра}} = 1 \text{ дм}^3$$

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

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

- а)  $C(\text{H}_3\text{PO}_4) - ?$   
 б)  $C_3(\text{H}_3\text{PO}_4) - ?$   
 в)  $C_m(\text{H}_3\text{PO}_4) - ?$

**Решение**

а) Молярную концентрацию вещества определяем по формуле

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

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

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

Из формулы

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

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

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

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

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

в) Моляльность вещества в растворе определяем по формуле

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

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

По условию задачи имеется раствор  $\text{H}_3\text{PO}_4$  с  $\omega = 6\%$ , следовательно, 6 г  $\text{H}_3\text{PO}_4$  растворены в 94 г  $\text{H}_2\text{O}$  (100 – 6).

Подставляем значения:

$$C_m(\text{H}_3\text{PO}_4) = 6 \cdot 1000 / (98 \cdot 94) = 0,65 \text{ моль/кг.}$$

*Ответ:* а)  $C(\text{H}_3\text{PO}_4) = 0,63 \text{ моль/дм}^3$ ;  
 б)  $C_3(\text{H}_3\text{PO}_4) = 1,89 \text{ моль/дм}^3$ ;  
 в)  $C_m(\text{H}_3\text{PO}_4) = 0,65 \text{ моль/кг.}$

7. Определите объем раствора 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:**

$$\omega(\text{K}_2\text{CO}_3) = 16\%$$

$$\rho_{\text{р-ра}} = 1,15 \text{ г/см}^3$$

$$V_{1 \text{ р-ра}}(\text{K}_2\text{CO}_3) = 3 \text{ дм}^3$$

$$C_3(\text{K}_2\text{CO}_3) = 0,2 \text{ моль/дм}^3$$

$$V_{2 \text{ р-ра}}(\text{K}_2\text{CO}_3) - ?$$

**Решение**

Из формулы

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

находим

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

Определяем массу  $\text{K}_2\text{CO}_3$ :

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

Поскольку

$$M_3(\text{K}_2\text{CO}_3) = M(\text{K}_2\text{CO}_3) / 2 = 138 / 2 = 69 \text{ г/моль},$$

$$\text{то } m(\text{K}_2\text{CO}_3) = 0,2 \cdot 69 \cdot 3 = 41,4 \text{ г}.$$

Согласно условию задачи имеем раствор с массовой долей  $\omega(\text{K}_2\text{CO}_3) = 16 \%$ .

Зная, что

$$\omega(\text{K}_2\text{CO}_3) = \frac{m(\text{K}_2\text{CO}_3)}{m_{2\text{ р-ра}}(\text{K}_2\text{CO}_3)} \cdot 100 \%,$$

определяем искомую массу раствора:

$$m_{2\text{ р-ра}}(\text{K}_2\text{CO}_3) = \frac{m(\text{K}_2\text{CO}_3)}{\omega(\text{K}_2\text{CO}_3)} \cdot 100 \% = \frac{41,4 \cdot 100}{16} = 258,75 \text{ г}.$$

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

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

### Задачи предлабораторного контроля

#### Задачи I уровня

1. Определите массу нитрата алюминия, содержащуюся 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, необходимую для приготовления  $500 \text{ см}^3$  раствора с массовой долей  $\omega(\text{CaCl}_2)$ , равной  $25 \%$ , плотность ( $\rho_{\text{р-ра}}$ ) 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  $60 \text{ г}$  сульфата натрия.

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

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

6. Определите моляльность ( $C_m$ ) этиленгликоля, если в  $800 \text{ г}$  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 ( $\rho_{\text{р-ра}}$ ), 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  $C_3(\text{FeSO}_4)$  в растворе, равной  $0,1 \text{ моль/дм}^3$ .

9. Определите молярную концентрацию эквивалента ( $C_3$ ) карбоната натрия, если в  $800 \text{ см}^3$  раствора содержится  $26,5 \text{ г}$   $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .

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 ( $\rho_{\text{р-ра}}$ ) равна  $1,27 \text{ г/см}^3$ ).

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

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

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

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

#### Задачи II уровня

1. Плотность раствора ( $\rho_{\text{р-ра}}$ ) серной кислоты с 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 г/см<sup>3</sup>, необходимый для приготовления 1 дм<sup>3</sup> раствора с  $C_3(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,5$  моль/дм<sup>3</sup>?

3. В 600 см<sup>3</sup> воды растворено 50 г гидроксида натрия. Плотность полученного раствора ( $\rho_{\text{р-ра}}$ ) равна 1,074 г/см<sup>3</sup>. 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, необходимую для приготовления 200 см<sup>3</sup> раствора с  $C_3(\text{K}_2\text{CO}_3) = 0,5$  моль/дм<sup>3</sup>.

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

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

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

### Контрольные задачи

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

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

3. На нейтрализацию 50 см<sup>3</sup> раствора  $\text{H}_3\text{PO}_4$  израсходовано 25 см<sup>3</sup> раствора с молярной концентрацией эквивалента  $C_3(\text{KOH})$ , равной 0,5 моль/дм<sup>3</sup>. Определите молярную концентрацию эквивалента  $C_3(\text{H}_3\text{PO}_4)$ . Сколько граммов  $\text{H}_3\text{PO}_4$  содержит 1 дм<sup>3</sup> 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 г/см<sup>3</sup>, необходимый для приготовления  $V_2 = 2$  дм<sup>3</sup> раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$  с  $\omega_2 = 40\%$ , плотность ( $\rho_2$ ) которого 1,31 г/см<sup>3</sup>.

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

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

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

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

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

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

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

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

13. Определите объем концентрированного раствора серной кислоты с массовой долей  $\omega_1(\text{H}_2\text{SO}_4)$ , равной 88 %, плотность ( $\rho_1$ ) которого равна 1,80 г/см<sup>3</sup>, необходимый для приготовления 5 дм<sup>3</sup>

аккумуляторного электролита с массовой долей  $\omega_2(\text{H}_2\text{SO}_4) = 36\%$ , плотностью ( $\rho_2$ )  $1,27 \text{ г/см}^3$ . Как практически приготовить электролит?

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. 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  $18\%$ .

16. 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?

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 концентрированного 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  $C_3(\text{HCl})$  равной  $0,1 \text{ моль/дм}^3$ .

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

20. На нейтрализацию  $20 \text{ см}^3$  раствора с  $C_3(\text{NaOH})$ , равной  $0,2 \text{ моль/дм}^3$ , израсходовано  $30 \text{ см}^3$  раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$  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 ( $\rho_{\text{р-ра}}$ ), 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.

23. На нейтрализацию  $80 \text{ см}^3$  раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$  израсходовано  $45 \text{ см}^3$  раствора  $\text{KOH}$ , 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  $C(\text{Na}_3\text{PO}_4)$  и молярную концентрацию эквивалента  $C_3(\text{Na}_3\text{PO}_4)$  ортофосфата натрия, если в  $2 \text{ дм}^3$  раствора содержится  $294 \text{ г Na}_3\text{PO}_4$ .

27. Определите объем концентрированного 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 вещества ( $C$ ), равной  $2 \text{ моль/дм}^3$ . Как практически приготовить этот раствор?

28. На нейтрализацию  $50 \text{ см}^3$  раствора с  $C_3(\text{NaOH})$ , равной  $0,25 \text{ моль/дм}^3$ , израсходовано  $20 \text{ см}^3$  раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$  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  $\chi(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)$  и моляльность  $C_m(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)$  в растворе глюкозы 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>.

<b>Дано:</b> $V(\text{H}_2\text{O}) = 1 \text{ дм}^3$ $m(\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2) = 0,972 \text{ г}$ $m(\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2) = 0,348 \text{ г}$ $J_{\text{к}} - ?$	<b>Решение</b> 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> ):
--	--

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

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

$M_3(\text{Ca}^{2+}) = 20,04 \text{ мг/ммоль}$  и  $M_3(\text{Mg}^{2+}) = 12,16 \text{ мг/ммоль}$  – молярные массы эквивалентов катионов металлов;

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

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

Поскольку молярная масса гидрокарбоната кальция равна  $M(\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2) = 162,04 \text{ г/моль}$ , а молярная масса ионов кальция  $M(\text{Ca}^{2+}) = 40,08 \text{ г/моль}$ , то можно составить пропорцию:

$$\begin{aligned} 162,04 \text{ г Ca}(\text{HCO}_3)_2 &\text{ содержит } 40,08 \text{ г Ca}^{2+} \\ 0,972 \text{ г Ca}(\text{HCO}_3)_2 &\text{ содержит } m \text{ г Ca}^{2+}. \end{aligned}$$

Тогда из пропорции следует, что  $m(\text{Ca}^{2+}) = 0,24 \text{ г} = 240 \text{ мг}$ .

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

Поскольку молярная масса гидрокарбоната магния равна  $M(\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2) = 146,3 \text{ г/моль}$ , а молярная масса ионов магния  $M(\text{Mg}^{2+}) = 24,32 \text{ г/моль}$ , то можно составить пропорцию:

$$\begin{aligned} 146,3 \text{ г Mg}(\text{HCO}_3)_2 &\text{ содержит } 24,32 \text{ г Mg}^{2+} \\ 0,348 \text{ г Mg}(\text{HCO}_3)_2 &\text{ содержит } m \text{ г Mg}^{2+}. \end{aligned}$$

Тогда из пропорции следует, что  $m(\text{Mg}^{2+}) = 0,058 \text{ г} = 58 \text{ мг}$ .

Подставляем полученные массы двухзарядных катионов металлов для определения жесткости:

$$J_{\text{к}} = \frac{240}{20,04 \cdot 1} + \frac{58}{12,16 \cdot 1} = 16,8 \text{ ммоль/дм}^3,$$

Ответ:  $J_{\text{к}} = 16,8 \text{ ммоль/дм}^3$ .

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

<b>Дано:</b> $V(\text{H}_2\text{O}) = 500 \text{ см}^3$ $m(\text{Mg}^{2+}) = 0,038 \text{ г} = 38 \text{ мг}$ $m(\text{Ca}^{2+}) = 0,108 \text{ г} = 108 \text{ мг}$ $J_{\text{о}} - ?$	<b>Решение</b> Общая жесткость воды определяется по формуле $J_{\text{о}} = C_3(\text{Ca}^{2+}) + C_3(\text{Mg}^{2+}) =$
---	--

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

Молярные массы эквивалентов ионов Ca<sup>2+</sup> и Mg<sup>2+</sup>:

$M_3(\text{Ca}^{2+}) = 20,04 \text{ мг/ммоль}$ ;  $M_3(\text{Mg}^{2+}) = 12,16 \text{ мг/ммоль}$ .

Подставляем значения в уравнение и определяем общую жесткость воды:

$$J_{\text{о}} = \frac{108}{20,04 \cdot 0,5} + \frac{38}{12,16 \cdot 0,5} = 17,03 \text{ ммоль/дм}^3.$$

Ответ:  $J_{\text{о}} = 17,03 \text{ ммоль/дм}^3$ .

3. Определите массу ортофосфата натрия Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, необходимую для умягчения 100 дм<sup>3</sup> воды, некарбонатная жесткость которой обусловлена присутствием хлорида кальция CaCl<sub>2</sub> и равна 5,6 ммоль/дм<sup>3</sup>.

**Дано:**

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

$$J_{\text{н}} = 5,6 \text{ ммоль/дм}^3$$

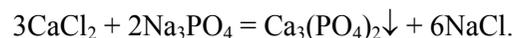
$$m(\text{Na}_3\text{PO}_4) - ?$$

**Решение**

Из определения некарбонатной жесткости  $J_{\text{н}} = n_3/V$  определяем число ммоль эквивалентов катионов кальция в данном объеме воды:

$$n_3(\text{Ca}^{2+}) = J_{\text{н}} \cdot V.$$

Устранение данной жесткости протекает согласно 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.  $n_3(\text{Ca}^{2+}) = n_3(\text{Na}_3\text{PO}_4)$ .

Поскольку

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

$$\text{то } m(\text{Na}_3\text{PO}_4) = n_3 \cdot M_3(\text{Na}_3\text{PO}_4) = J_{\text{н}} \cdot V \cdot M_3(\text{Na}_3\text{PO}_4),$$

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  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ :

$$m(\text{Na}_3\text{PO}_4) = 5,6 \cdot 100 \cdot 54,7 = 30\,632 \text{ мг} = 30,6 \text{ г}.$$

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

### Задачи предлабораторного контроля

#### Задачи I уровня

1. Вычислите карбонатную жесткость воды, 1 дм<sup>3</sup> которой содержит 0,486 г гидрокарбоната кальция  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  и 0,264 г гидрокарбоната магния  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ .

2. Определите массу сульфата кальция  $\text{CaSO}_4$  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  $\text{Ca}^{2+}$  и 0,24 г ионов магния  $\text{Mg}^{2+}$ .

4. Определите массу гидроксида кальция  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , 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  $\text{MgCl}_2$  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  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ , необходимую для умягчения 1 м<sup>3</sup> воды, некарбонатная жесткость которой равна 3,6 ммоль/дм<sup>3</sup>.

7. Определите карбонатную жесткость воды, 1 дм<sup>3</sup> которой содержит 0,842 г гидрокарбоната кальция  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ .

8. Определите массу карбоната натрия  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , 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  $\text{CaCl}_2$ .

9. Определите массу хлорида кальция  $\text{CaCl}_2$  в 600 см<sup>3</sup> воды, если жесткость, обусловленная этой солью, равна 8,64 ммоль/дм<sup>3</sup>.

10. Вычислите карбонатную жесткость воды, 1 дм<sup>3</sup> которой содержит 0,642 г гидрокарбоната кальция  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  и 0,388 г гидрокарбоната магния  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ .

11. Определите массу ортофосфата натрия  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ , необходимую для умягчения 10 м<sup>3</sup> воды, некарбонатная жесткость которой равна 4,2 ммоль/дм<sup>3</sup>.

12. Определите некарбонатную жесткость воды, 1 дм<sup>3</sup> которой содержит 1,246 г хлорида кальция  $\text{CaCl}_2$ .

13. Определите массу хлорида кальция  $\text{CaCl}_2$  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  $\text{CaCl}_2$  и 0,528 г хлорида магния  $\text{MgCl}_2$ .

15. Вычислите карбонатную жесткость воды, 500 см<sup>3</sup> которой содержит 0,142 г гидрокарбоната магния  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$  и 0,278 г гидрокарбоната кальция  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ .

#### Задачи II уровня

1. На титрование 100 см<sup>3</sup> воды, содержащей гидрокарбонат кальция  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ , израсходовано 40 см<sup>3</sup> раствора соляной кислоты с молярной концентрацией эквивалента  $C_3(\text{HCl})$ , равной 0,15 моль/дм<sup>3</sup>.

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  $C_3(\text{HCl})$ , 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. Вычислите карбонатную жесткость воды, если  $1 \text{ дм}^3$  ее содержит  $0,525 \text{ г}$  гидрокарбоната кальция  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ .

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

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

7. 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  $\text{Mg}^{2+}$ .

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

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

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

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  $1 \text{ дм}^3$  ее содержит  $0,534 \text{ г}$  гидрокарбоната кальция  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  и  $0,364 \text{ г}$  гидрокарбоната магния  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ .

23. Определите массу гидроксида кальция  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , необходимую для умягчения  $90 \text{ дм}^3$  воды, карбонатная жесткость которой равна  $4,3 \text{ ммоль/дм}^3$  и обусловлена содержанием гидрокарбоната кальция  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ .

24. Определите массу хлорида магния  $MgCl_2$  в  $800\text{ см}^3$  воды, если жесткость, обусловленная этой солью, равна  $5,6\text{ ммоль/дм}^3$ .

25. Вычислите карбонатную жесткость воды, если  $1\text{ дм}^3$  ее содержит  $0,630\text{ г}$  гидрокарбоната кальция  $Ca(HCO_3)_2$  и  $0,438\text{ г}$  гидрокарбоната магния  $Mg(HCO_3)_2$ .

26. Определите массу карбоната натрия  $Na_2CO_3$ , необходимую для умягчения  $60\text{ дм}^3$  воды, некарбонатная жесткость которой равна  $4,9\text{ ммоль/дм}^3$ .

27. Определите массу хлорида кальция  $CaCl_2$  в  $900\text{ см}^3$  воды, если жесткость, обусловленная этой солью, равна  $3,5\text{ ммоль/дм}^3$ .

28. Вычислите карбонатную жесткость воды, если  $1\text{ дм}^3$  ее содержит  $0,564\text{ г}$  гидрокарбоната магния  $Mg(HCO_3)_2$ .

29. Определите массу ортофосфата натрия  $Na_3PO_4$ , необходимую для умягчения  $50\text{ дм}^3$  воды, некарбонатная жесткость которой равна  $4,1\text{ ммоль/дм}^3$ .

30. Вычислите общую жесткость воды, если в  $10\text{ дм}^3$  воды содержится  $0,98\text{ г}$  ионов кальция  $Ca^{2+}$  и  $0,44\text{ г}$  ионов магния  $Mg^{2+}$ .

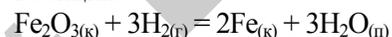
## 6. ЭНЕРГЕТИКА ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

### Типовые задачи и их решения

1. Рассчитайте тепловой эффект реакции получения железа методом восстановления из оксида железа (III) водородом:  $Fe_2O_{3(к)} + 3H_{2(г)} = 2Fe_{(к)} + 3H_2O_{(л)}$ , пользуясь термодинамическими величинами (табл. 1). Запишите термохимическое уравнение. Сделайте вывод: экзо- или эндотермической является данная реакция.

**Дано:**

Реакция:

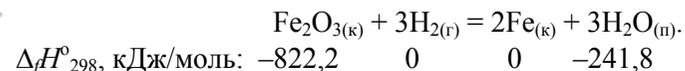


$\Delta_f H^\circ_{298} - ?$

**Решение**

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

Для простых веществ ( $Fe$ ,  $H_2$ )  $\Delta_f H^\circ_{298}$  равны нулю.



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

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

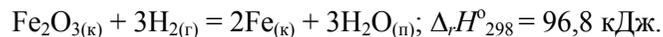
Для данной реакции

$$\begin{aligned} \Delta_r H^\circ_{298} &= [2 \Delta_f H^\circ_{298}(Fe_{(к)}) + 3 \Delta_f H^\circ_{298}(H_2O_{(л)})] - \\ &\quad - [1 \Delta_f H^\circ_{298}(Fe_2O_{3(к)}) + 3 \Delta_f H^\circ_{298}(H_{2(г)})]. \end{aligned}$$

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

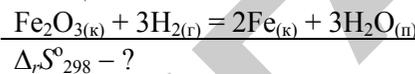
Стандартные энтальпии образования веществ

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

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

Дано:

Реакция:



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

Решение

Из табл. 2 выписываем значения абсолютных стандартных энтропий веществ:

$$S^\circ_{298}, \text{ Дж/(моль}\cdot\text{К)}: \begin{matrix} \text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{к})} & + & 3\text{H}_{2(\text{г})} & = & 2\text{Fe}_{(\text{к})} & + & 3\text{H}_2\text{O}_{(\text{г})} \\ 87,5 & & 130,5 & & 27,2 & & 188,7 \end{matrix}$$

Используем следствие из закона Гесса:

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

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

Подставляем значения и вычисляем

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

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

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

Таблица 2

Абсолютные стандартные энтропии веществ

Вещество, (состояние)	$S^\circ_{298}$ , Дж/(моль·К)	Вещество, (состояние)	$S^\circ_{298}$ , Дж/(моль·К)
Al <sub>(к)</sub>	28,35	KClO <sub>3(к)</sub>	143,0
Al <sub>2</sub> O <sub>3(к)</sub>	50,9	H <sub>2</sub> S <sub>(г)</sub>	205,7

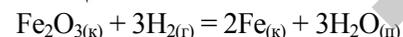
Окончание табл. 2

Вещество, (состояние)	$S_{298}^{\circ}$ , Дж/(моль·К)	Вещество, (состояние)	$S_{298}^{\circ}$ , Дж/(моль·К)
C <sub>(уголь, графит)</sub>	5,7	N <sub>2(г)</sub>	191,5
CH <sub>4(г)</sub>	186,2	NH <sub>3(г)</sub>	192,6
C <sub>2</sub> H <sub>2(г)</sub>	200,8	NH <sub>4</sub> Cl <sub>(к)</sub>	95,8
CH <sub>3</sub> OH <sub>(г)</sub>	160,7	NH <sub>4</sub> NO <sub>3(т)</sub>	151,0
CH <sub>3</sub> OH <sub>(ж)</sub>	126,8	NO <sub>(г)</sub>	210,6
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH <sub>(ж)</sub>	160,7	NO <sub>2(г)</sub>	240,2
C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6(п-п)</sub>	269,0	N <sub>2</sub> O <sub>(г)</sub>	219,9
CO <sub>(г)</sub>	197,6	(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CO <sub>(т)</sub>	173,8
CO <sub>2(г)</sub>	213,7	Ni <sub>(к)</sub>	29,9
CaO <sub>(к)</sub>	39,7	NiCl <sub>2(к)</sub>	98,1
Ca(OH) <sub>2(к)</sub>	76,1	NiO <sub>(к)</sub>	38,0
Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2(к)</sub>	236,0	O <sub>2(г)</sub>	205,0
Ca <sub>3</sub> N <sub>2(к)</sub>	105,0	P <sub>2</sub> O <sub>5(к)</sub>	114,5
Cr <sub>(к)</sub>	23,6	Pd <sub>(т)</sub>	37,7
Cr <sub>2</sub> O <sub>3(к)</sub>	81,2	PdO <sub>(т)</sub>	38,9
Fe <sub>(к)</sub>	27,2	SO <sub>2(г)</sub>	248,1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3(к)</sub>	87,5	SiH <sub>4(г)</sub>	204,8
H <sub>2(г)</sub>	130,5	SiO <sub>2(т)</sub>	41,8
HCl <sub>(г)</sub>	186,8	Ti <sub>(к)</sub>	30,6
H <sub>2</sub> O <sub>(л)</sub>	188,7	TiO <sub>2(к)</sub>	50,3
H <sub>2</sub> O <sub>(ж)</sub>	70,1	W <sub>(к)</sub>	32,7
KCl <sub>(к)</sub>	82,6	WO <sub>3(к)</sub>	75,9

3. Вычислите изменение энергии Гиббса реакции получения железа методом восстановления из 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  $\Delta_r G_{298}^{\circ}$ , используя два способа:

1) уравнение Гиббса:

$$\Delta_r G_{298}^{\circ} = \Delta_r H_{298}^{\circ} - T \cdot \Delta_r S_{298}^{\circ}.$$

Подставляем значения и вычисляем

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

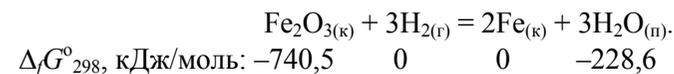
Здесь введен множитель  $10^{-3}$ , поскольку  $\Delta_r H_{298}^{\circ}$  выражен в [кДж], а  $T \cdot \Delta_r S_{298}^{\circ}$  имеет размерность [Дж].

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

2) следствие из закона Гесса:

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

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



Подставляем значения  $\Delta_f G_{298}^{\circ}$  веществ и вычисляем

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

$$- [1 \Delta_f G^{\circ}_{298}(\text{Fe}_2\text{O}_3_{(к)}) + 3 \Delta_f G^{\circ}_{298}(\text{H}_{2(г)})] =$$

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

На основании расчетов делаем вывод, что реакция слева направо 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  $T = 1273 \text{ К}$ ):

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

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

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
$\text{Al}_2\text{O}_3_{(к)}$	-1582,0	$\text{Fe}(\text{OH})_3_{(к)}$	-699,6
$\text{BeO}_{(к)}$	-582,0	$\text{HCl}_{(г)}$	-94,8
$\text{BeCO}_3_{(к)}$	-944,7	$\text{H}_2\text{O}_{(л)}$	-228,6
$\text{C}_2\text{H}_2_{(г)}$	208,4	$\text{H}_2\text{O}_{(ж)}$	-237,2
$\text{CH}_4_{(г)}$	-50,79	$\text{MgO}_{(к)}$	-569,6
$\text{CO}_{(г)}$	-137,1	$\text{MgCO}_3_{(к)}$	-1029,3
$\text{CO}_2_{(г)}$	-394,4	$\text{NH}_3_{(г)}$	-16,51
$\text{CaC}_2_{(г)}$	-67,8	$\text{NH}_4\text{NO}_3_{(г)}$	-183,77
$\text{CaO}_{(к)}$	-604,2	$\text{N}_2\text{O}_{(г)}$	103,7
$\text{Ca}(\text{OH})_2_{(г)}$	-896,8	$\text{NO}_{(г)}$	86,6
$\text{CaCO}_3_{(к)}$	-1128,8	$\text{NO}_2_{(г)}$	51,5
$\text{CuO}_{(к)}$	-129,4	$\text{NiCl}_2_{(к)}$	-258,0
$\text{Cr}_2\text{O}_3_{(к)}$	-1059,0	$\text{WO}_3_{(к)}$	-763,9
$\text{Fe}_2\text{O}_3_{(к)}$	-740,5	$\text{ZnCl}_2_{(к)}$	-369,4
$\text{Fe}(\text{OH})_2_{(к)}$	-479,7	$\text{ZnO}_{(к)}$	-320,7

в) Определяем минимальную температуру, при которой реакция будет протекать самопроизвольно ( $\Delta_r G^{\circ} = 0$ ):

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

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 411 °С реакция становится возможной, поскольку  $\Delta_r G^{\circ} < 0$ .

Ответ: а)  $\Delta_r G^{\circ}_{298} = 54,6 \text{ кДж}$ ;  
 б)  $\Delta_r G^{\circ}_{1273} = -83,3 \text{ кДж}$ ;  
 в)  $T_{\min} = 684 \text{ К}$ .

### Задачи предлабораторного контроля

#### Задачи I уровня

1. Пользуясь термодинамическими величинами (табл. 1), определите тепловой эффект реакции  $2\text{NO}_{(г)} + \text{O}_{2(г)} = 2\text{NO}_2_{(г)}$ . Запишите термохимическое уравнение. Сделайте вывод: экзо- или эндотермической является данная реакция.

2. Рассчитайте тепловой эффект химической реакции  $3\text{CaO}_{(к)} + \text{P}_2\text{O}_5_{(к)} = \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2_{(к)}$ , пользуясь термодинамическими величинами (табл. 1). Запишите термохимическое уравнение. Сделайте вывод: экзо- или эндотермической является данная реакция.

3. Определите  $\Delta_r G^{\circ}_{298}$  реакции получения вольфрама из оксида вольфрама (VI) по уравнению:  $\text{WO}_3_{(к)} + 3\text{Ca}_{(к)} = \text{W}_{(к)} + 3\text{CaO}_{(к)}$ , пользуясь термодинамическими величинами из табл. 3. Сделайте вывод: будет ли протекать при стандартных условиях реакция?

4. Вычислите тепловой эффект восстановления магнитного железняка по уравнению  $\text{Fe}_3\text{O}_4(\text{к}) + \text{CO}(\text{г}) = 3\text{FeO}(\text{к}) + \text{CO}_2(\text{г})$ , 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):  $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{к}) + 3\text{CO}(\text{г}) = 2\text{Fe}(\text{к}) + 3\text{CO}_2(\text{г})$ , пользуясь стандартными энтальпиями образования веществ (табл. 1). Запишите термохимическое уравнение. Сделайте вывод: экзо- или эндотермической является данная реакция.

6. Протекает ли реакция  $4\text{Fe}(\text{OH})_2(\text{к}) + \text{O}_2(\text{г}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{ж}) = 4\text{Fe}(\text{OH})_3(\text{к})$  при стандартных условиях? Сделайте вывод, вычислив  $\Delta_r G^\circ_{298}$  реакции, используйте термодинамические величины из табл. 3.

7. Определите  $\Delta_r G^\circ_{298}$  реакции получения хрома по уравнению:  $\text{Cr}_2\text{O}_3(\text{к}) + 2\text{Al}(\text{к}) = 2\text{Cr}(\text{к}) + \text{Al}_2\text{O}_3(\text{к})$ , используя термодинамические величины из табл. 3. Сделайте вывод: будет ли протекать самопроизвольно данная реакция при стандартных условиях?

8. Сделайте вывод на основании расчета  $\Delta_r G^\circ_{298}$  реакции, используя термодинамические величины из табл. 3. Возможна ли реакция  $\text{Zn}(\text{к}) + 2\text{HCl}(\text{г}) = \text{ZnCl}_2(\text{к}) + \text{H}_2(\text{г})$  при стандартных условиях.

9. Определите возможность разложения нитрата аммония по уравнению:  $\text{NH}_4\text{NO}_3(\text{г}) = \text{N}_2\text{O}(\text{г}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{г})$  при стандартных условиях, используйте термодинамические величины из табл. 3. Сделайте вывод на основании расчета  $\Delta_r G^\circ_{298}$  реакции.

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

11. Определите тепловой эффект реакции горения хлороводорода по реакции:  $2\text{HCl}(\text{г}) + \text{O}_2(\text{г}) = \text{Cl}_2(\text{г}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{г})$ , 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  $\text{CuO}(\text{г}) + \text{H}_2(\text{г}) = \text{Cu}(\text{г}) + \text{H}_2\text{O}(\text{ж})$ ? Сделайте вывод на основании расчета  $\Delta_r G^\circ_{298}$  реакции, используйте термодинамические величины из табл. 3.

13. Будет ли протекать при стандартных условиях реакция  $\text{WO}_3(\text{к}) + 3\text{CO}(\text{г}) = \text{W}(\text{к}) + 3\text{CO}_2(\text{г})$ ? Сделайте вывод на основании расчета  $\Delta_r G^\circ_{298}$  реакции, используйте термодинамические величины из табл. 3.

14. Пользуясь термодинамическими величинами (табл. 1), рассчитайте тепловой эффект реакции получения этилового спирта  $\text{C}_2\text{H}_4(\text{г}) + \text{H}_2\text{O}(\text{г}) = \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{г})$ . Запишите данное термохимическое уравнение. Сделайте вывод: экзо- или эндотермической является данная реакция.

15. Железо под воздействием внешней среды ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{O}_2$ ) ржавеет, т. е. подвергается коррозии. Определите, какое состояние для железа ( $\text{Fe}^0$  или  $\text{Fe}^{+3}$ ) является термодинамически более устойчивым? Сделайте вывод на основании расчета  $\Delta_r G^\circ_{298}$  реакции:  $4\text{Fe}(\text{к}) + 3\text{O}_2(\text{г}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{г}) = 4\text{Fe}(\text{OH})_3(\text{к})$ , используйте 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  $\text{CaO}$ , содержащей 20 % примесей.

2. При соединении 20 г алюминия с кислородом при стандартных условиях выделилось 609,6 кДж теплоты. Определите стандартную энтальпию образования оксида алюминия  $\Delta_f H^\circ_{298}(\text{Al}_2\text{O}_3(\text{г}))$ . Запишите данное термохимическое уравнение.

3. Реакция горения аммиака выражается термохимическим уравнением:  $4\text{NH}_3(\text{г}) + 3\text{O}_2(\text{г}) = 2\text{N}_2(\text{г}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{ж})$ ,  $\Delta_r H^\circ_{298} = -1530,28$  кДж. Вычислите стандартную энтальпию образования аммиака  $\Delta_f H^\circ_{298}(\text{NH}_3(\text{г}))$ , если  $\Delta_f H^\circ_{298}(\text{H}_2\text{O}(\text{ж})) = -285,8$  кДж/моль.

4. Определите, пользуясь стандартными энтальпиями образования веществ (табл. 1), при сгорании какого вещества: а)  $\text{CH}_4(\text{г})$ ; б)  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{г})$  выделится больше энергии? Учтите, что при полном сгорании веществ образуются  $\text{CO}_2(\text{г})$  и  $\text{H}_2\text{O}(\text{ж})$ .

5. 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)  $\Delta_f H^\circ_{298}(\text{CuO}(\text{г}))$ , если  $\Delta_f H^\circ_{298}(\text{CO}(\text{г})) = -110,5$  кДж/моль.

### Контрольные задачи

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

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

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

4. Чем можно объяснить невозможность осуществления реакции  $\text{H}_{2(\text{г})} + \text{CO}_{2(\text{г})} = \text{CO}_{(\text{г})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}$ ,  $\Delta_r H^\circ_{298} = -2,85$  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.

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

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

8. Наиболее перспективным жидким топливом является метанол (метилвый спирт)  $\text{CH}_3\text{OH}$ . Определите, возможен ли процесс

получения метанола при стандартных условиях по реакции:  $\text{CO}_{(\text{г})} + \text{H}_{2(\text{г})} = \text{CH}_3\text{OH}_{(\text{г})}$ ,  $\Delta_r H^\circ_{298} = -128,1$  кДж. Сделайте вывод на основании расчета  $\Delta_r S^\circ_{298}$ , используя термодинамические величины из табл. 2, и  $\Delta_r G^\circ_{298}$  реакции 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 по реакции  $2\text{NH}_{3(\text{г})} + \text{CO}_{2(\text{г})} = (\text{NH}_2)_2\text{CO}_{(\text{г})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{н})}$  при стандартных условиях. Сделайте вывод на основании расчета  $\Delta_r G^\circ_{298}$  реакции, используя уравнение Гиббса. Для расчета используйте термодинамические величины из таблиц 1 и 2.

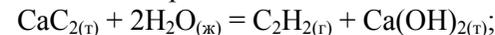
10. Возможен ли процесс получения нитрата аммония  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  по уравнению реакции  $2\text{N}_{2(\text{г})} + 4\text{H}_2\text{O}_{(\text{н})} + \text{O}_{2(\text{г})} = 2\text{NH}_4\text{NO}_{3(\text{г})}$  при стандартных условиях? Для расчета используйте уравнение Гиббса и термодинамические величины из таблиц 1 и 2.

11. Одним из перспективных способов получения искусственно-го топлива является реакция  $\text{CO}_{2(\text{г})} + 4\text{H}_{2(\text{г})} = 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{н})} + \text{CH}_{4(\text{г})}$ ,  $\Delta_r H^\circ_{298} = 76,8$  кДж. Возможен ли данный процесс при стандартных условиях? Сделайте вывод на основании расчета  $\Delta_r S^\circ_{298}$ , используйте термодинамические величины из табл. 2, и  $\Delta_r G^\circ_{298}$  реакции по уравнению Гиббса.

12. Одним из металлов, мало подверженных коррозии, является титан. Рассчитайте, возможен ли процесс его получения по реакции  $\text{TiO}_{2(\text{к})} + 2\text{C}_{(\text{уголь})} = \text{Ti}_{(\text{к})} + 2\text{CO}_{(\text{г})}$  при стандартных условиях. Для расчета используйте уравнение Гиббса и термодинамические величины из таблиц 1 и 2.

13. Ацетилен в смеси с кислородом используют для сварки и резки металлов. Его получают различными способами, например:

а) действием воды на карбид кальция:



б) крекингом метана:



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

14. Определите, возможен ли процесс образования ортофосфата кальция по реакции  $3\text{CaO}_{(\text{к})} + \text{P}_2\text{O}_{5(\text{к})} = \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_{2(\text{к})}$  при стандартных

условиях. Ответ мотивируйте, вычислив  $\Delta_r G^\circ_{298}$  данной реакции, используя уравнение Гиббса. Для расчета  $\Delta_r H^\circ_{298}$  и  $\Delta_r S^\circ_{298}$  реакции используйте термодинамические величины из таблиц 1 и 2.

15. Определите по уравнению Гиббса  $\Delta_r G^\circ_{298}$  реакции горения сероводорода:  $2\text{H}_2\text{S}_{(г)} + 3\text{O}_{2(г)} = 2\text{SO}_{2(г)} + 2\text{H}_2\text{O}_{(л)}$ . Вычислите, используя стандартные энтальпии образования веществ  $\Delta_r H^\circ_{298}$  из табл. 1 и абсолютные стандартные энтропии веществ  $S^\circ_{298}$  из табл. 2. Возможна ли эта реакция при стандартных условиях?

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

17. Определите возможность протекания реакции разложения хлората калия:  $2\text{KClO}_{3(к)} = 2\text{KCl}_{(к)} + 3\text{O}_{2(г)}$  при стандартных условиях. Сделайте вывод на основании расчета  $\Delta_r G^\circ_{298}$  реакции, используя уравнение Гиббса. Для расчета используйте термодинамические величины из таблиц 1 и 2.

18. Для реакции синтеза аммиака  $\text{N}_{2(г)} + 3\text{H}_{2(г)} = 2\text{NH}_{3(г)}$ ,  $\Delta_r H^\circ_{298} = -92,4$  кДж, рассчитайте  $\Delta_r S^\circ_{298}$ , используйте данные табл. 2, и  $\Delta_r G^\circ_{298}$  по уравнению Гиббса. Определите минимальную температуру, при которой в системе установится химическое равновесие ( $\Delta_r G^\circ_{298} = 0$ ).

19. Какой из карбонатов,  $\text{BeCO}_{3(к)}$  или  $\text{CaCO}_{3(к)}$ , можно получить по реакции взаимодействия соответствующих основных оксидов  $\text{BeO}_{(к)}$  и  $\text{CaO}_{(к)}$  с диоксидом углерода (IV)  $\text{CO}_2$ ? Сделайте вывод, вычислив  $\Delta_r G^\circ_{298}$  реакций, используйте термодинамические величины из табл. 3.

20. Определите по уравнению Гиббса  $\Delta_r G^\circ_{298}$  реакции разложения метана  $2\text{CH}_{4(г)} = \text{C}_2\text{H}_{2(г)} + 3\text{H}_{2(г)}$ . Вычислите, используя стандартные энтальпии образования веществ  $\Delta_r H^\circ_{298}$  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  $\text{NiO}_{(к)} + \text{CO}_{(г)} = \text{Ni}_{(к)} + \text{CO}_{2(г)}$  при стандартных условиях. Ответ мотивируйте, вычислив  $\Delta_r G^\circ_{298}$  реакции, используя уравнение Гиббса. Для расчета  $\Delta_r H^\circ_{298}$  и  $\Delta_r S^\circ_{298}$  реакции используйте термодинамические величины из таблиц 1 и 2.

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

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

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

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

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

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

28. Возможна ли реакция  $\text{SiH}_{4(г)} + 2\text{O}_{2(г)} = \text{SiO}_{2(г)} + 2\text{H}_2\text{O}_{(ж)}$  при стандартных условиях? Ответ подтвердите, рассчитав  $\Delta_r H^\circ_{298}$  и  $\Delta_r S^\circ_{298}$ , используйте данные таблиц 1 и 2, и  $\Delta_r G^\circ_{298}$  реакции по уравнению Гиббса.

29. Определите  $\Delta_r H^\circ_{298}$  и  $\Delta_r G^\circ_{298}$  реакций: а)  $\text{MgCO}_{3(к)} = \text{MgO}_{(к)} + \text{CO}_{2(г)}$ ; б)  $\text{CaCO}_{3(к)} = \text{CaO}_{(к)} + \text{CO}_{2(г)}$ , используйте термодинамические величины

из таблиц 1 и 3. Сделайте вывод, какой из карбонатов обладает большей термической устойчивостью.

30. Определите, возможен ли процесс образования ортофосфата кальция при стандартных условиях по реакции  $P_2O_5(к) + 3Ca(OH)_2(к) = Ca_3(PO_4)_2(к) + 3H_2O(ж)$ . Ответ мотивируйте, вычислив  $\Delta_r G^{\circ}_{298}$  данной реакции, используя уравнение Гиббса. Для расчета  $\Delta_r H^{\circ}_{298}$  и  $\Delta_r S^{\circ}_{298}$  реакции используйте термодинамические величины из таблиц 1 и 2.

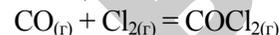
## 7. ХИМИЧЕСКАЯ КИНЕТИКА И РАВНОВЕСИЕ

### Типовые задачи и их решения

1. В системе, в которой протекает реакция  $CO_{(г)} + Cl_{2(г)} = COCl_{2(г)}$ , 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:



$$C_0(CO) = 0,3 \text{ моль/дм}^3$$

$$C_1(CO) = 1,2 \text{ моль/дм}^3$$

$$C_0(Cl_2) = 0,2 \text{ моль/дм}^3$$

$$C_1(Cl_2) = 0,6 \text{ моль/дм}^3$$

$$V_1 / V_0 = ?$$

#### Решение

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

$$V = k \cdot C(CO) \cdot C(Cl_2),$$

где  $C(CO)$  – молярная концентрация оксида углерода (II), моль/дм<sup>3</sup>;  
 $C(Cl_2)$  – молярная концентрация хлора, моль/дм<sup>3</sup>;  
 $k$  – константа скорости реакции.

Начальная скорость

$$V_0 = k \cdot C_0(CO) \cdot C_0(Cl_2) = k \cdot 0,3 \cdot 0,2 = 0,06k.$$

С увеличением концентраций реагирующих веществ, скорость ( $V_1$ ) возрастет и составит:

$$V_1 = k \cdot C_1(CO) \cdot C_1(Cl_2) = k \cdot 1,2 \cdot 0,6 = 0,72k.$$

$$\text{Тогда: } V_1 / V_0 = 0,72k / 0,06k = 12.$$

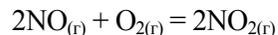
Следовательно, скорость реакции возрастет в 12 раз.

$$\text{Ответ: } V_1 / V_0 = 12.$$

2. Определите, как изменится скорость реакции  $2NO_{(г)} + O_{2(г)} = 2NO_{2(г)}$ , 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)  $V_1 / V_0 = ?$

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

**Дано:**

$$\Delta T = T_2 - T_1 = 30 \text{ К}$$

$$\gamma = 3$$

$$V_{T_2} / V_{T_1} = ?$$

**Решение**

Согласно правилу Вант-Гоффа:

$$V_{T_2} / V_{T_1} = \gamma^{\frac{T_2 - T_1}{10}}.$$

Подставляем значения:

$$V_{T_2} / V_{T_1} = 3^{\frac{30}{10}} = 3^3 = 27,$$

т. е. скорость реакции увеличится в 27 раз.

*Ответ:*  $V_{T_2} / V_{T_1} = 27$ .

**4.** Определите, чему равен температурный коэффициент скорости реакции, если при увеличении температуры на 50 К скорость реакции возрастает в 32 раза?

**Дано:**

$$V_{T_2} / V_{T_1} = 32$$

$$\Delta T = 50 \text{ К}$$

$$\gamma = ?$$

**Решение**

Согласно правилу Вант-Гоффа:

$$V_{T_2} / V_{T_1} = \gamma^{\frac{T_2 - T_1}{10}}.$$

Подставляем значения:

$$32 = \gamma^5, \text{ т. е. } 2^5 = \gamma^5, \text{ отсюда } \gamma = 2.$$

*Ответ:*  $\gamma = 2$ .

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

**Дано:**

$$t_1 = 130 \text{ °С}$$

$$\tau_{T_1} = 24 \text{ мин}$$

а)  $t_2 = 150 \text{ °С}$

б)  $t_2 = 80 \text{ °С}$

$$\gamma = 2$$

а)  $\tau_{T_2} = ?$

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:

$$\tau_{T_1} / \tau_{T_2} = \gamma^{\frac{T_2 - T_1}{10}},$$

где  $\tau_{T_1}$  – время реакции при температуре  $T_1$ ;  
 $\tau_{T_2}$  – время реакции при температуре  $T_2$ .

а)  $T_1 = 273 + 130 = 403 \text{ К}$ ;  $T_2 = 273 + 150 = 423 \text{ К}$ ;  
 $\tau_{T_1} = 24 \text{ мин}$ ;  $\gamma = 2$ .

Подставим значения:

$$\frac{24}{\tau_{T_2}} = 2^{\frac{423 - 403}{10}}; \quad \frac{24}{\tau_{T_2}} = 2^2;$$

$$\tau_{T_2} = \frac{24}{4} = 6 \text{ мин},$$

т. е. при температуре  $150 \text{ }^\circ\text{C}$  реакция закончится за 6 мин.

б)  $T_1 = 403 \text{ К}$ ;  $T_2 = 353 \text{ К}$ ;  
 $\tau_{T_1} = 24 \text{ мин}$ ;  $\gamma = 2$ .

Подставим значения:

$$\frac{24}{\tau_{T_2}} = 2^{\frac{353 - 403}{10}}; \quad \frac{24}{\tau_{T_2}} = 2^{-5};$$

$$\tau_{T_2} = \frac{24 \cdot 32}{1} = 768 \text{ мин} = 12 \text{ ч } 48 \text{ мин},$$

т. е. при температуре  $80 \text{ }^\circ\text{C}$  реакция закончится за 12 ч 48 мин.

*Ответ:* а) 6 мин; б) 12 ч 48 мин.

**6.** Равновесие реакции  $2\text{NO}_{2(\text{г})} \rightleftharpoons 2\text{NO}_{(\text{г})} + \text{O}_{2(\text{г})}$  при нагревании оксида азота (IV) до некоторой температуры в закрытом сосуде 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:**

$$[\text{NO}_2] = 0,3 \text{ моль/дм}^3$$

$$[\text{NO}] = 1,2 \text{ моль/дм}^3$$

$$[\text{O}_2] = 0,6 \text{ моль/дм}^3$$

а)  $K_c$  – ?

б)  $C_0(\text{NO}_2)_2$  – ?

**Решение**

Константу равновесия данной реакции рассчитывают, исходя из равновесных концентраций исходных и конечных веществ, согласно выражению

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

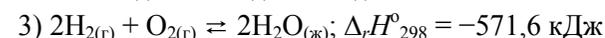
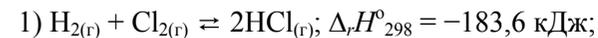
Поскольку к моменту установления равновесия в системе образуется 1,2 моль NO, а по стехиометрии реакции из 2 моль  $\text{NO}_2$  образуется 2 моль NO, то количество израсходованного к этому времени оксида азота (IV) также составит 1,2 моль, т. е. израсходованная концентрация  $C(\text{NO}_2)_{\text{изр}} = 1,2 \text{ моль/дм}^3$ .

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

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

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

**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  $\text{H}_{2(\text{г})} + \text{Cl}_{2(\text{г})} \rightleftharpoons 2\text{HCl}_{(\text{г})}$ ;  $\Delta_r H^\circ_{298} = -183,6 \text{ кДж}$  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 (уменьшение 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  $\text{CaCO}_{3(\text{к})} \rightleftharpoons \text{CaO}_{(\text{к})} + \text{CO}_{2(\text{г})}$ ;  $\Delta_r H^\circ_{298} = 179$  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).

3) Реакция  $2\text{H}_{2(\text{г})} + \text{O}_{2(\text{г})} \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}$ ;  $\Delta_r H^\circ_{298} = -571,6$  кДж является обратимой гетерогенной реакцией. В выражение константы равновесия входят фазы переменного состава ( $\text{H}_2$  и  $\text{O}_2$ ), а концентрация фазы постоянного состава (жидкой  $\text{H}_2\text{O}$ ) принимается равной единице:

$$K_c = \frac{1}{[\text{H}_2]^2 \cdot [\text{O}_2]}.$$

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

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

б) при повышении давления смещение равновесия также произойдет в прямом направлении, в сторону образования меньшего количества молей газообразных веществ (3 объема газа  $\rightleftharpoons$  0 объемов газа).

8. В равновесной системе  $\text{N}_{2(\text{г})} + 3\text{H}_{2(\text{г})} \rightleftharpoons 2\text{NH}_{3(\text{г})}$  давление увеличили в 5 раз. Рассчитайте, как изменятся скорости прямой ( $V_0^{\text{пр}}$ ) и обратной ( $V_0^{\text{обп}}$ ) реакций. В сторону какой реакции сместится равновесие? Выразите константу равновесия данной реакции.

**Решение.** Реакция  $\text{N}_{2(\text{г})} + 3\text{H}_{2(\text{г})} \rightleftharpoons 2\text{NH}_{3(\text{г})}$  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:

$$V_0^{\text{обп}} = k_2 \cdot [\text{NH}_3]^2.$$

С увеличением давления в 5 раз скорости изменятся и составят:

$$V_1^{\text{пр}} = k_1 \cdot [5\text{N}_2] \cdot [5\text{H}_2]^3 = 625 k_1 \cdot [\text{N}_2] \cdot [\text{H}_2]^3;$$

$$V_1^{\text{обп}} = k_2 \cdot [5\text{NH}_3]^2 = 25 k_2 \cdot [\text{NH}_3]^2.$$

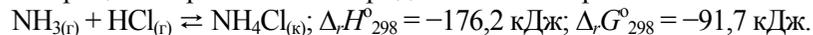
Сравнивая скорости прямой и обратной реакций после увеличения давления (625 / 25), делаем вывод, что скорость прямой реакции по отношению к скорости обратной реакции увеличилась в 25 раз.

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 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:  $\lg K_c \approx 16$ . 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 предлабораторного контроля

### 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 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:  $\text{PbO}_{2(\text{r})} + 2\text{H}_{2(\text{r})} = \text{Pb}_{(\text{r})} + 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}$ . Как изменится скорость реакции, если увеличить концентрацию водорода в 4 раза?

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

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

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

11. Для обратимой реакции  $2\text{SO}_{2(\text{r})} + \text{O}_{2(\text{r})} \rightleftharpoons 2\text{SO}_{3(\text{r})}$ ;  $\Delta_r H^\circ_{298} = -284,2 \text{ кДж}$  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  $\text{Fe}_2\text{O}_{3(г)} + 3\text{H}_{2(г)} \rightleftharpoons 2\text{Fe}_{(г)} + 3\text{H}_2\text{O}_{(г)}$  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. Напишите выражение скорости прямой реакции равновесной системы  $2\text{CO}_{(г)} \rightleftharpoons \text{C}_{(г)} + \text{CO}_{2(г)}$  согласно закону действия масс. Рассчитайте, во сколько раз следует увеличить концентрацию CO, чтобы скорость реакции возросла в 25 раз. Выразите константу равновесия ( $K_c$ ) этой реакции. Определите, в какую сторону сместится равновесие при увеличении концентрации  $\text{CO}_2$ .

2. Напишите выражение скорости химической реакции  $\text{SO}_{2(г)} + \text{H}_{2(г)} \rightleftharpoons \text{S}_{(г)} + 2\text{H}_2\text{O}_{(г)}$  согласно закону действия масс. Рассчитайте, как изменится скорость реакции, если: а) увеличить концентрацию  $\text{SO}_2$  в 5 раз; б) понизить давление в системе в 3 раза.

3. Рассчитайте скорости прямой и обратной реакций в равновесной системе  $\text{N}_{2(г)} + 3\text{H}_{2(г)} \rightleftharpoons 2\text{NH}_{3(г)}$  при увеличении давления в ней в 3 раза. В какую сторону сместится равновесие? Выразите константу равновесия ( $K_c$ ) этой реакции и укажите ее физический смысл.

4. Равновесие в системе  $2\text{SO}_{2(г)} + \text{O}_{2(г)} \rightleftharpoons 2\text{SO}_{3(г)}$  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  $C_0(\text{O}_2)$ ).

5. Исходные концентрации оксида азота (II) и хлора в равновесной системе  $2\text{NO}_{(г)} + \text{Cl}_{2(г)} \rightleftharpoons 2\text{NOCl}_{(г)}$  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).

### 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 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 °С равна 1 моль/(дм<sup>3</sup>·с). Вычислите скорость этой реакции при 80 °С, если температурный коэффициент скорости реакции равен 4.

20. При увеличении температуры на 50 °С 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 от 140 до 100 °С? 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 °С реакция заканчивается за 4 мин, а при 10 °С – за 16 мин. Вычислите температурный коэффициент скорости реакции. Определите время, необходимое для окончания реакции при 20 °С.

24. При повышении температуры на 20 °С скорость реакции возросла в 9 раз. Вычислите температурный коэффициент скорости реакции.

25. Температурный коэффициент скорости реакции равен 4. При 30 °С скорость реакции составляет 0,02 моль/(дм<sup>3</sup>·с). Какова скорость этой реакции при: а) 0 °С; б) 50 °С?

26. Как изменится скорость химической реакции при понижении температуры от 80 °С до 20 °С, если температурный коэффициент скорости реакции равен 3?

27. Реакция при 60 °С заканчивается за 1 мин 30 с. Определите время, необходимое для окончания данной реакции при 80 °С, если температурный коэффициент скорости реакции равен 3.

28. Во сколько раз уменьшится скорость химической реакции, если температуру газовой смеси понизить от 40 °С до 0 °С? 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 °С реакция заканчивается за 4 мин. Температурный коэффициент скорости реакции равен 2. Определите время, необходимое для окончания этой реакции при 10 °С.

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

1. Свинец можно восстановить из оксида свинца (IV) с помощью водорода:  $\text{PbO}_{2(\text{т})} + 2\text{H}_{2(\text{г})} = \text{Pb}_{(\text{т})} + 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{т})}$ . 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  $\text{CO}_{(\text{г})} + 2\text{H}_{2(\text{г})} = \text{CH}_3\text{OH}_{(\text{ж})}$ . 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  $2\text{NO}_{(\text{г})} + \text{O}_{2(\text{г})} = 2\text{NO}_{2(\text{г})}$ . Рассчитайте, как изменится скорость этой реакции, если увеличить концентрацию NO в 3 раза.

4. Напишите выражение скорости для химической реакции  $\text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{т})} + 3\text{CO}_{(\text{г})} = 2\text{Fe}_{(\text{т})} + 3\text{CO}_{2(\text{г})}$  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  $\text{S}_{(\text{т})} + \text{O}_{2(\text{г})} = \text{SO}_{2(\text{г})}$ , 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 в 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 ее скорости 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:  $\text{C}_{(\text{r})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{n})} = \text{CO}_{(\text{r})} + \text{H}_{2(\text{r})}$ . 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  $\text{SO}_{2(\text{r})} + \text{NO}_{2(\text{r})} = \text{SO}_{3(\text{r})} + \text{NO}_{(\text{r})}$ . Приведите выражение скорости этой реакции в соответствии с законом действия масс. Рассчитайте, как изменится скорость реакции, если увеличить концентрацию SO<sub>2</sub> 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  $\text{CH}_{4(\text{r})} + 2\text{O}_{2(\text{r})} = \text{CO}_{2(\text{r})} + 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{n})}$ . Приведите выражение скорости этой реакции согласно закону действия масс и рассчитайте, как изменится скорость реакции, если увеличить концентрацию O<sub>2</sub> в 3 раза.

12. При температуре выше 1200 °С 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 H<sub>2</sub> в 4 раза.

14. Оксид азота (II) при низких температурах конденсируется по уравнению  $2\text{NO}_{(\text{r})} = \text{N}_2\text{O}_{2(\text{ж})}$ . Рассчитайте, как изменится скорость реакции при увеличении давления 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:  $\text{CO}_{(\text{r})} + 2\text{H}_{2(\text{r})} = \text{CH}_3\text{OH}_{(\text{ж})}$ . 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  $\text{NH}_{3(\text{r})} + 2\text{O}_{2(\text{r})} = \text{HNO}_{3(\text{ж})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}$ . 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  $2\text{CO}_{(\text{r})} = \text{CO}_{2(\text{r})} + \text{C}_{(\text{r})}$ , протекающей при низких температурах, возросла в 4 раза?

19. Запишите выражение скорости реакции, протекающей по уравнению  $\text{H}_{2(\text{r})} + \text{Cl}_{2(\text{r})} = 2\text{HCl}_{(\text{r})}$ , 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  $2\text{SO}_{2(\text{r})} + \text{O}_{2(\text{r})} = 2\text{SO}_{3(\text{r})}$ , если: а) увеличить концентрацию SO<sub>2</sub> в 3 раза; б) уменьшить концентрацию O<sub>2</sub> в 4 раза? Сделайте расчет, используя выражение скорости для данной реакции согласно закону действия масс.

21. Во сколько раз необходимо увеличить концентрацию: а) H<sub>2</sub>S или б) SO<sub>2</sub> для реакции  $\text{H}_2\text{S}_{(\text{r})} + \text{SO}_{2(\text{r})} = 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{n})} + 3\text{S}_{(\text{r})}$  при неизменной концентрации второго компонента, чтобы в обоих случаях скорость реакции возросла в 9 раз? Сделайте расчет, используя выражение скорости для данной реакции согласно закону действия масс.

**Контрольные задачи по разделу  
«Химическое равновесие в гомогенных  
и гетерогенных реакциях»**

22. Рассчитайте, как изменится скорость химической реакции  $2\text{Fe}_{(r)} + 3\text{Cl}_{2(r)} = 2\text{FeCl}_{3(r)}$ , если концентрации исходных веществ увеличить в 3 раза? Сделайте расчет, используя выражение скорости для данной реакции согласно закону действия масс.

23. Оксид азота (II) и хлор взаимодействуют по уравнению  $2\text{NO}_{(r)} + \text{Cl}_{2(r)} = 2\text{NOCl}_{(r)}$ . 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):  $\text{CO}_{2(r)} + \text{C}_{(r)} = 2\text{CO}_{(r)}$ . Как изменится скорость этой реакции, если концентрации исходных веществ увеличить в 8 раз? Сделайте расчет, используя выражение скорости для данной реакции согласно закону действия масс.

25. Напишите выражение скорости реакции, протекающей по уравнению  $2\text{Al}_{(r)} + 3\text{Br}_{2(r)} = 2\text{AlBr}_{3(r)}$ , согласно закону действия масс и рассчитайте, как изменится ее скорость при увеличении концентрации брома в 5 раз.

26. Напишите выражение скорости для химической реакции  $\text{NH}_{3(r)} + \text{HCl}_{(r)} = \text{NH}_4\text{Cl}_{(к)}$  согласно закону действия масс. Как изменится скорость реакции, если давление в системе увеличить в 3 раза?

27. Напишите выражение скорости для химической реакции  $\text{Fe}_3\text{O}_{4(r)} + \text{CO}_{(r)} = 3\text{FeO}_{(r)} + \text{CO}_{2(r)}$  согласно закону действия масс. Как изменится скорость реакции, если давление в системе увеличить в 2 раза?

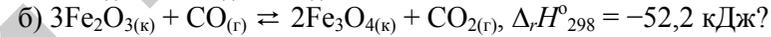
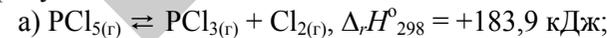
28. Напишите выражение скорости для химической реакции  $\text{Fe}_2\text{O}_{3(к)} + 3\text{H}_{2(r)} = 2\text{Fe}_{(к)} + 3\text{H}_2\text{O}_{(n)}$  согласно закону действия масс. Как изменится скорость реакции, если концентрации исходных веществ увеличить в 3 раза?

29. Напишите выражение скорости для химической реакции  $\text{N}_{2(r)} + 3\text{H}_{2(r)} = 2\text{NH}_{3(r)}$  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  $\text{SO}_{2(r)} + \text{NO}_{2(r)} = \text{SO}_{3(r)} + \text{NO}_{(r)}$  согласно закону действия масс. Рассчитайте, как изменится скорость реакции, если увеличить концентрации исходных веществ в 2 раза.

1. При определенных условиях реакция хлороводорода с кислородом обратима и протекает по схеме:  $4\text{HCl}_{(r)} + \text{O}_{2(r)} \rightleftharpoons 2\text{Cl}_{2(r)} + 2\text{H}_2\text{O}_{(n)}$ ,  $\Delta_r H^\circ_{298} = -116,4$  кДж. Выразите константу равновесия ( $K_c$ ) реакции. Определите, как сместится равновесие при: а) увеличении температуры; б) повышении давления.

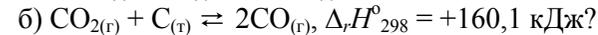
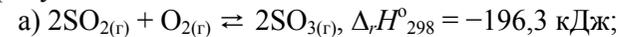
2. Как изменить температуру и давление в следующих обратимых реакциях, чтобы сместить равновесие в сторону образования продуктов:



Выразите константы равновесия ( $K_c$ ) реакций.

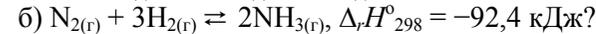
3. Реакция образования оксида серы (IV) протекает по схеме:  $2\text{SO}_{2(r)} + \text{O}_{2(r)} \rightleftharpoons 2\text{SO}_{3(ж)}$ ,  $\Delta_r H^\circ_{298} = -284,2$  кДж. Как повлияет на смещение равновесия увеличение температуры? Рассчитайте, как изменятся скорости прямой и обратной реакций при увеличении давления в системе в 3 раза. В какую сторону сместится при этом равновесие? Выразите константу равновесия ( $K_c$ ) реакции.

4. Как изменить температуру и давление в следующих обратимых реакциях, чтобы сместить равновесие в сторону образования продуктов:



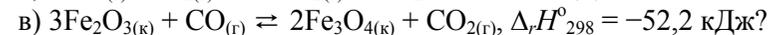
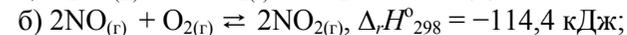
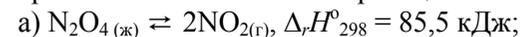
Выразите константы равновесия ( $K_c$ ) реакций.

5. Как следует изменить температуру и давление (увеличить или уменьшить), чтобы равновесие в реакциях сместить вправо:



Выразите константы равновесия ( $K_c$ ) реакций.

6. Как повлияет уменьшение давления и температуры на смещение равновесия в химических реакциях:



Выразите константы равновесия ( $K_c$ ) реакций.

7. Рассчитайте, как изменятся скорости прямой и обратной реакций в системе:  $\text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{к})} + 3\text{H}_{2(\text{г})} \rightleftharpoons 2\text{Fe}_{(\text{к})} + 3\text{H}_2\text{O}_{(\text{н})}$ , если увеличить давление в 3 раза. Произойдет ли при этом смещение равновесия? Выразите константу равновесия ( $K_c$ ) реакции.

8. При нагревании хлорида аммония происходит обратимое разложение соли:  $\text{NH}_4\text{Cl}_{(\text{т})} \rightleftharpoons \text{NH}_{3(\text{г})} + \text{HCl}_{(\text{г})}$ . Как повлияет на смещение равновесия в этой системе: а) увеличение давления; б) уменьшение концентрации  $\text{NH}_3$ ? Выразите константу равновесия ( $K_c$ ) реакции.

9. Реакция протекает по уравнению  $\text{C}_{(\text{т})} + 2\text{H}_{2(\text{г})} \rightleftharpoons \text{CH}_{4(\text{г})}$ . 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.

10. Процесс взаимодействия аммиака с водой обратим и протекает по схеме:  $\text{NH}_{3(\text{г})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})} \rightleftharpoons \text{NH}_4\text{OH}_{(\text{ж})}$ . Определите, как повлияет на смещение равновесия в этой системе понижение давления. Выразите константу равновесия ( $K_c$ ) реакции.

11. В ходе реакции  $\text{Cl}_{2(\text{г})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})} \rightleftharpoons \text{HCl}_{(\text{п})} + \text{HClO}_{(\text{п})}$  образуются кислоты: соляная и хлорноватистая. Определите, как повлияет на смещение равновесия в этой системе повышение давления. Выразите константу равновесия ( $K_c$ ) реакции.

12. Равновесие реакции  $2\text{NO}_{2(\text{г})} \rightleftharpoons 2\text{NO}_{(\text{г})} + \text{O}_{2(\text{г})}$  установилось при концентрациях (моль/дм<sup>3</sup>):  $[\text{NO}_2] = 0,02$ ;  $[\text{NO}] = 0,16$ ;  $[\text{O}_2] = 0,08$ . Вычислите константу равновесия ( $K_c$ ) реакции и исходную концентрацию  $\text{C}_0(\text{NO}_2)$ . Как повлияет на смещение равновесия в системе уменьшение давления?

13. 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 системе в 5 раз. В сторону какой реакции сместится при этом равновесие? Выразите константу равновесия ( $K_c$ ) реакции.

14. Равновесие в системе  $2\text{SO}_{2(\text{г})} + \text{O}_{2(\text{г})} \rightleftharpoons 2\text{SO}_{3(\text{г})}$  при некоторой температуре наступило при концентрациях (моль/дм<sup>3</sup>):  $[\text{SO}_2] = 0,04$ ;  $[\text{O}_2] = 0,01$ ;  $[\text{SO}_3] = 0,02$ . Вычислите константу равновесия ( $K_c$ ) реакции и исходные концентрации оксида серы (IV) и кислорода. Как повлияет на смещение равновесия в системе увеличение давления?

15. В системе  $\text{CO}_{(\text{г})} + \text{Cl}_{2(\text{г})} \rightleftharpoons \text{COCl}_{2(\text{г})}$  равновесие установилось 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?

16. В реакции  $\text{H}_{2(\text{г})} + \text{I}_{2(\text{н})} \rightleftharpoons 2\text{HI}_{(\text{г})}$  исходные концентрации водорода и йода составляли:  $\text{C}_0(\text{H}_2) = \text{C}_0(\text{I}_2) = 1$  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?

17. Вычислите равновесные концентрации веществ и константу равновесия ( $K_c$ ) реакции  $\text{CO}_{(\text{г})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{н})} \rightleftharpoons \text{CO}_{2(\text{г})} + \text{H}_{2(\text{г})}$ , 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?

18. Вычислите равновесные концентрации водорода  $[\text{H}_2]$ , йода  $[\text{I}_2]$  и константу равновесия ( $K_c$ ) реакции  $\text{H}_{2(\text{г})} + \text{I}_{2(\text{н})} \rightleftharpoons 2\text{HI}_{(\text{г})}$ , если их исходные концентрации составляли:  $\text{C}_0(\text{H}_2) = \text{C}_0(\text{I}_2) = 0,03$  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 в системе  $2\text{NO}_{(\text{г})} + \text{Cl}_{2(\text{г})} \rightleftharpoons 2\text{NOCl}_{(\text{г})}$  составляли (моль/дм<sup>3</sup>):  $\text{C}_0(\text{NO}) = 0,5$ ;  $\text{C}_0(\text{Cl}_2) = 0,2$ . 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  $\text{CO}_{(\text{г})} + \text{Cl}_{2(\text{г})} \rightleftharpoons \text{COCl}_{2(\text{г})}$  протекает в объеме 10 дм<sup>3</sup>. Состав равновесной смеси: 14 г CO; 35,5 г Cl<sub>2</sub> и 49,5 г COCl<sub>2</sub>. 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 схеме:  $\text{N}_2\text{O}_{3(\text{г})} \rightleftharpoons \text{NO}_{(\text{г})} + \text{NO}_{2(\text{г})}$ ;  $\Delta_r H^\circ < 0$ . 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) обратима:  $\text{NO}_{2(\text{г})} + \text{O}_{2(\text{г})} + 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})} \rightleftharpoons 4\text{HNO}_{3(\text{п})}$ ;  $\Delta_r H^\circ_{298} = -255$  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:  $N_{2(r)} + 3H_{2(r)} \rightleftharpoons 2NH_{3(r)}$ . В момент равновесия концентрации веществ составили (моль/дм<sup>3</sup>):  $[N_2] = 3$ ;  $[H_2] = 1$ ;  $[NH_3] = 2$ . Вычислите константу равновесия ( $K_c$ ) и исходные концентрации азота и водорода. Как повлияет увеличение давления в системе на смещение равновесия?

**24.** Концентрации веществ в системе  $H_{2(r)} + I_{2(г)} \rightleftharpoons 2HI_{(r)}$  в момент равновесия составили (моль/дм<sup>3</sup>):  $[H_2] = 0,3$ ;  $[I_2] = 0,4$ ;  $[HI] = 0,2$ . Рассчитайте константу равновесия ( $K_c$ ) и исходные концентрации водорода и йода ( $C_0(H_2)$  и  $C_0(I_2)$ ). Как повлияет увеличение концентрации йодоводорода на смещение равновесия в системе?

**25.** Реакция получения ацетилена из метана протекает по схеме:  $2CH_{4(r)} \rightleftharpoons C_2H_{2(r)} + 3H_{2(r)}$ ;  $\Delta_r G^{\circ}_{298} = 108,2$  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.

**26.** Выразите и рассчитайте константу равновесия ( $K_c$ ) реакции  $Fe_2O_{3(r)} + 3CO_{(r)} \rightleftharpoons 2Fe_{(r)} + 3CO_{2(r)}$ ,  $\Delta_r G^{\circ}_{298} = -31,6$  кДж. Определите, как повлияет увеличение давления на смещение равновесия в этой системе.

**27.** Реакция образования оксида серы (VI) обратима и протекает по схеме:  $2SO_{2(r)} + O_{2(r)} \rightleftharpoons 2SO_{3(r)}$ ;  $\Delta_r H^{\circ}_{298} = -196,3$  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:  $FeO_{(к)} + H_{2(r)} \rightleftharpoons Fe_{(к)} + H_2O_{(г)}$ ;  $\Delta_r G^{\circ}_{298} = 15,7$  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.** Реакция образования оксида азота (IV) протекает по схеме:  $2NO_{(r)} + O_{2(r)} \rightleftharpoons 2NO_{2(r)}$ ;  $\Delta_r H^{\circ}_{298} = -112,9$  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.

**30.** Реакция образования аммиака из водорода и азота обратима:  $N_{2(r)} + 3H_{2(r)} \rightleftharpoons 2NH_{3(r)}$ ;  $\Delta_r H^{\circ}_{298} = -92,4$  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.

## 8. РАСТВОРЫ НЕЭЛЕКТРОЛИТОВ И ЭЛЕКТРОЛИТОВ

### Типовые задачи и их решения

1. При растворении 18,4 г сахара  $C_{12}H_{22}O_{11}$  в 100 г воды температура замерзания воды понизилась на  $1^\circ C$ . Определите молярную массу сахара. Криоскопическая постоянная ( $K_T$ ) воды равна 1,86.

<p><b>Дано:</b>  <math>m(C_{12}H_{22}O_{11}) = 18,4</math> г  <math>m(H_2O) = 100</math> г  <math>\Delta t_3 = 1^\circ C</math>  <math>K_T = 1,86</math>  <math>M(C_{12}H_{22}O_{11}) - ?</math></p>	<p><b>Решение</b>                  Находим молярную массу сахара <math>M(C_{12}H_{22}O_{11})</math>, используя формулу II закона Рауля для неэлектролита, т. к. сахар – неэлектролит:</p> $\Delta t_3 = \frac{K_T \cdot m(C_{12}H_{22}O_{11}) \cdot 1000}{M(C_{12}H_{22}O_{11}) \cdot m(H_2O)},$
--	--

где  $\Delta t_3$  – понижение температуры замерзания,  $^\circ C$ ;  
 $m(C_{12}H_{22}O_{11})$  – масса сахара, г;  
 $m(H_2O)$  – масса растворителя (воды), г;  
 $M(C_{12}H_{22}O_{11})$  – молярная масса сахара, г/моль.

Откуда

$$M(C_{12}H_{22}O_{11}) = \frac{K_T \cdot m(C_{12}H_{22}O_{11}) \cdot 1000}{\Delta t_3 \cdot m(H_2O)},$$

$$M(C_{12}H_{22}O_{11}) = \frac{1,86 \cdot 18,4 \cdot 1000}{1 \cdot 100} = 342 \text{ г/моль.}$$

Ответ:  $M(C_{12}H_{22}O_{11}) = 342$  г/моль.

2. 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 ( $\Delta T$ ) воды равна 0,52.

**Дано:**  
 $m(C_6H_{12}O_6) = 9$  г  
 $m(H_2O) = 100$  г  
 $K_T = 1,86$   
 $\Delta T = 0,52$   
 $t_3 - ?$   
 $t_k - ?$

**Решение**  
 Задачу решаем, используя II закон Рауля для неэлектролита, т. к.  $C_6H_{12}O_6$  – неэлектролит (см. задачу 1).  
 Учитывая, что молярная масса глюкозы равна 180 г/моль, находим изменение температур замерзания и кипения:

$$\Delta t_3 = \frac{1,86 \cdot 9 \cdot 1000}{180 \cdot 100} = 0,93^\circ C;$$

$$\Delta t_k = \frac{0,52 \cdot 9 \cdot 1000}{180 \cdot 100} = 0,26^\circ C.$$

Определяем температуры замерзания и кипения раствора:

$$t_3 = t_{3,H_2O} - \Delta t_3 = 0 - 0,93 = -0,93^\circ C;$$

$$t_k = t_{k,H_2O} + \Delta t_k = 100 + 0,26 = 100,26^\circ C.$$

Ответ:  $t_3 = -0,93^\circ C$ ;  $t_k = 100,26^\circ C$ .

3. Вычислите осмотическое давление раствора, содержащего 9,2 г глицерина ( $C_3H_5(OH)_3$ ) в 500 см<sup>3</sup> раствора при  $27^\circ C$ .

**Дано:**  
 $m(C_3H_5(OH)_3) = 9,2$  г  
 $V_{p-pa} = 500$  см<sup>3</sup>  
 $t = 27^\circ C$   
 $P_{осм} - ?$

**Решение**  
 Осмотическое давление рассчитываем по закону Вант-Гоффа для неэлектролита, т. к. глицерин – неэлектролит:

$$P_{осм} = C \cdot R \cdot T,$$

где  $P_{осм}$  – осмотическое давление, кПа;  
 $C$  – молярная концентрация вещества в растворе, моль/дм<sup>3</sup>;  
 $R$  – универсальная газовая постоянная, равная 8,314 дм<sup>3</sup>·кПа/(моль·К);  
 $T$  – абсолютная температура, К.

Определяем молярную концентрацию вещества в растворе 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  $M(\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3) = 92 \text{ г/моль}$ .

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.

Определим молярную долю этанола в растворе:

$$\chi = \frac{n(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})}{n(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) + n(\text{H}_2\text{O})}$$

$$n(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = \frac{m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})}{M(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})} = \frac{25}{46} = 0,54 \text{ моль},$$

т. к. в 25%-м растворе 25 г  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  содержится в 75 г  $\text{H}_2\text{O}$  (100 – 25), то

$$n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} = \frac{75}{18} = 4,17 \text{ моль}.$$

Подставляем значения:

$$\chi = \frac{0,54}{0,54 + 4,17} = 0,11,$$

$$P = P^0 - P^0 \cdot \chi = 2,16 - 2,16 \cdot 0,11 = 1,79 \text{ кПа}.$$

*Ответ:*  $P = 1,79 \text{ кПа}$ .

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:**  
 $\omega(\text{BaCl}_2) = 3,2 \%$   
 $t_{\text{к(р-ра)}} = 100,208 \text{ °С}$   
 $\mathcal{E}_T = 0,52$   
 $\alpha - ?$

**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.

Определяем моляльность  $C_m$ :

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

По условию задачи  $\omega(\text{BaCl}_2) = 3,2 \%$ , следовательно, 3,2 г  $\text{BaCl}_2$  содержится 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  $M(\text{BaCl}_2) = 208 \text{ г/моль}$ .

Находим изменение температуры кипения раствора:

$$\Delta t_k = t_{k(\text{р-ра})} - t_{k(\text{H}_2\text{O})} = 100,208 - 100 = 0,208 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Определяем изотонический коэффициент, используя II закон Рауля для электролитов:

$$i = \frac{\Delta t_k}{\Delta t_k^0} = \frac{0,208}{0,52 \cdot 0,16} = 2,5.$$

Вычисляем кажущуюся степень диссоциации:

$$\alpha = \frac{i - 1}{k - 1},$$

$k = 3$ , 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.  $R = 8,314 \text{ дм}^3 \cdot \text{кПа}/(\text{моль} \cdot \text{K})$ .

Дано:

$$V_{\text{р-ра}}(\text{KIO}_3) = 500 \text{ см}^3 = 0,5 \text{ дм}^3$$

$$m(\text{KIO}_3) = 5,35 \text{ г}$$

$$t = 17,5 \text{ }^\circ\text{C} \quad (T = 290,5 \text{ K})$$

$$P_{\text{осм}} = 221 \text{ кПа}$$

$$R = 8,314 \text{ дм}^3 \cdot \text{кПа}/(\text{моль} \cdot \text{K})$$

$$i - ? \quad \alpha - ?$$

Решение

Согласно закону Вант-Гоффа осмотическое давление для растворов электролитов ( $\text{KIO}_3$  – электролит):

$$P_{\text{осм}} = i \cdot C \cdot R \cdot T,$$

где  $i$  – изотонический коэффициент;

$C$  – молярная концентрация, моль/дм<sup>3</sup>;

$R$  – универсальная газовая постоянная;

$T$  – абсолютная температура, К.

Кажущаяся степень диссоциации определяется по формуле

$$\alpha = \frac{i - 1}{k - 1},$$

где  $k$  – число ионов, на которое диссоциирует одна молекула электролита.

Определяем молярную концентрацию:

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

$$C(\text{KIO}_3) = \frac{m(\text{KIO}_3)}{M(\text{KIO}_3) \cdot V_{\text{р-ра}}} = \frac{5,35}{214 \cdot 0,5} = 0,05 \text{ моль/дм}^3,$$

где  $M(\text{KIO}_3) = 214 \text{ г/моль}$ .

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:  
 $k = 2$ , т. к.  $\text{KIO}_3 \rightarrow \text{K}^+ + \text{IO}_3^-$  (диссоциирует с образованием 2 ионов).  
 Подставляем значения:

$$\alpha = \frac{1,83 - 1}{2 - 1} = 0,83 \text{ или } 83 \%,$$

т. е.  $\text{KIO}_3$  является сильным электролитом.

*Ответ:*  $i = 1,83$ ;  $\alpha = 83 \%$ .

7. Определите при 298 К давление насыщенного пара 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**  
 Давление насыщенного пара над раствором определяем, исходя из формулы I закона Рауля для электролитов, т. к.  $\text{CaCl}_2$  – электролит:

$$\frac{P^0 - P}{P^0} = i \cdot \chi.$$

Для водного раствора хлорида кальция

$$\frac{P^0 - P}{P^0} = i \frac{n(\text{CaCl}_2)}{n(\text{CaCl}_2) + n(\text{H}_2\text{O})},$$

где  $P^0$  – давление насыщенного пара над растворителем, кПа;  
 $P$  – давление насыщенного пара над раствором, кПа;  
 $n(\text{CaCl}_2)$  – 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

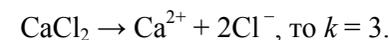
$$\alpha = \frac{i - 1}{k - 1},$$

где  $k$  – число ионов, на которое диссоциирует одна молекула электролита.

Откуда изотонический коэффициент:

$$i = \alpha \cdot (k - 1) + 1.$$

Поскольку диссоциация протекает по уравнению:



Подставляем значения:

$$i = 0,85 \cdot (3 - 1) + 1 = 2,7.$$

Определяем молярную долю:

$$\chi(\text{CaCl}_2) = \frac{n(\text{CaCl}_2)}{n(\text{CaCl}_2) + n(\text{H}_2\text{O})};$$

$$n(\text{CaCl}_2) = \frac{m(\text{CaCl}_2)}{M(\text{CaCl}_2)} = \frac{14}{111} = 0,13 \text{ моль};$$

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

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  $M(\text{H}_2\text{O}) = 18 \text{ г/моль}$ .

Тогда

$$\chi(\text{CaCl}_2) = \frac{0,13}{0,13 + 22,2} = 0,006.$$

Подставляем значения и рассчитываем давление насыщенного пара над раствором из 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:  $P = 2,3$  кПа.

8. Вычислите степень диссоциации хлорноватистой кислоты и молярную концентрацию ионов водорода в 0,05 М растворе.

Дано:	Решение
$C(\text{HClO}) = 0,05 \text{ моль/дм}^3$ $K_{\text{к}}(\text{HClO}) = 5,0 \cdot 10^{-8}$ $\alpha - ?$ $C(\text{H}^+) - ?$	Хлорноватистая кислота $\text{HClO}$ – слабый электролит. Диссоциирует обратимо: $\text{HClO} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{ClO}^-.$

В соответствии с законом разбавления Оствальда степень диссоциации ( $\alpha$ ) определяется по формуле

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_{\text{к}}}{C}},$$

где  $K_{\text{к}}$  – константа кислотности, от которой зависит полнота протекания диссоциации слабой кислоты при данной температуре;

$C$  – молярная концентрация вещества, моль/дм<sup>3</sup>.

$$K_{\text{к}} = \frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{ClO}^-]}{[\text{HClO}]}.$$

Подставляем значения:

$$\alpha = \sqrt{\frac{5,0 \cdot 10^{-8}}{5,0 \cdot 10^{-2}}} = 10^{-3}.$$

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 и концентрацию гидроксид-ионов при протоллизе гидроксида аммония в 0,01 М растворе.

Дано:	Решение
$C(\text{NH}_4\text{OH}) = 0,01 \text{ моль/дм}^3$ $K_{\text{o}}(\text{NH}_4\text{OH}) = 2,0 \cdot 10^{-5}$ $\alpha - ?$ $C(\text{OH}^-) - ?$	Гидроксид аммония $\text{NH}_4\text{OH}$ – слабый электролит, диссоциация протекает обратимо: $\text{NH}_4\text{OH} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-.$

Степень диссоциации определяется по уравнению

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_{\text{o}}}{C}},$$

где  $K_{\text{o}}$  – константа основности, от которой зависит полнота протекания диссоциации слабого основания при данной температуре;

$C$  – молярная концентрация вещества, моль/дм<sup>3</sup>.

$$K_{\text{o}} = \frac{[\text{NH}_4^+] \cdot [\text{OH}^-]}{[\text{NH}_4\text{OH}]}.$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{2,0 \cdot 10^{-5}}{10^{-2}}} = 4,48 \cdot 10^{-2}.$$

$$C(\text{OH}^-) = C(\text{NH}_4\text{OH}) \cdot \alpha \cdot n(\text{OH}^-) = 10^{-2} \cdot 4,48 \cdot 10^{-2} \cdot 1 = 4,48 \cdot 10^{-4} \text{ моль/дм}^3,$$

где  $n(\text{OH}^-)$  – число гидроксид-ионов, образовавшихся при диссоциации одной молекулы основания. Для  $\text{NH}_4\text{OH}$   $n(\text{OH}^-) = 1$ .

Ответ:  $\alpha = 4,48 \cdot 10^{-2}$ ;  $C(\text{OH}^-) = 4,48 \cdot 10^{-4}$  моль/дм<sup>3</sup>.

## Задачи предлабораторного контроля

### Задачи I уровня

В качестве охлаждающих жидкостей (антифризов) могут быть использованы растворы, содержащие органические вещества (глицерин, этиленгликоль, этанол). Определите понижение температуры замерзания антифриза, приготовленного при смешивании следующих компонентов:

1. 100 г воды и 20 г глицерина  $C_3H_5(OH)_3$ .
  2. 200 г воды и 50 г этиленгликоля  $C_2H_4(OH)_2$ .
  3. 300 г воды и 100 г этанола  $C_2H_5OH$ .
  4. 200 г воды и 100 г этанола  $C_2H_5OH$ .
  5. 500 г воды и 100 г глицерина  $C_3H_5(OH)_3$ .
  6. 1000 г воды и 100 г этиленгликоля  $C_2H_4(OH)_2$ .
  7. 100 г воды и 100 г глицерина  $C_3H_5(OH)_3$ .
  8. 300 г воды и 200 г этиленгликоля  $C_2H_4(OH)_2$ .
  9. 500 г воды и 300 г этанола  $C_2H_5OH$ .
  10. 500 г воды и 200 г глицерина  $C_3H_5(OH)_3$ .
  11. 400 г воды и 800 г глицерина  $C_3H_5(OH)_3$ .
  12. 1000 г воды и 500 г этиленгликоля  $C_2H_4(OH)_2$ .
  13. 400 г воды и 300 г этанола  $C_2H_5OH$ .
  14. 100 г воды и 92 г глицерина  $C_3H_5(OH)_3$ .
  15. 400 г воды и 300 г этанола  $C_2H_5OH$ .
- Криоскопическая постоянная ( $K_T$ ) воды равна 1,86.

### Задачи II уровня

1. Рассчитайте объем раствора этанола с массовой долей  $\omega(C_2H_5OH)$ , равной 96 % (плотность  $\rho_{p-ра} = 0,8$  г/см<sup>3</sup>), который необходимо добавить к 2 дм<sup>3</sup> воды, чтобы получить жидкость для омывательного бачка автомобиля с температурой замерзания  $-20$  °С. Криоскопическая постоянная ( $K_T$ ) воды равна 1,86.
2. Рассчитайте, какой объем этиленгликоля с массовой долей 60 % (плотность  $\rho_{p-ра} = 1,08$  г/см<sup>3</sup>) потребуется для приготовления 3 кг водного раствора антифриза для системы охлаждения тракторного двигателя с понижением температуры замерзания до  $-30$  °С. Криоскопическая постоянная ( $K_T$ ) воды равна 1,86.

3. Определите объем глицерина (плотность  $\rho_{p-ра} = 1,26$  г/см<sup>3</sup>), который необходимо добавить к 1 дм<sup>3</sup> воды, чтобы приготовить раствор антифриза для автомобильного двигателя А-65 (температура замерзания раствора  $-65$  °С). Криоскопическая постоянная ( $K_T$ ) воды равна 1,86.

4. Необходимо приготовить раствор антифриза массой 10 кг для автомобильного двигателя на основе воды и этиленгликоля с температурой замерзания  $-20$  °С. Рассчитайте объемы смешиваемых жидкостей, учтите, что плотность 60 %-го раствора этиленгликоля равна 1,26 г/см<sup>3</sup>, а плотность воды 1 г/см<sup>3</sup>. Криоскопическая постоянная ( $K_T$ ) воды равна 1,86.

5. Пропиленгликоль  $C_3H_6(OH)_2$  является веществом более перспективным для приготовления охлаждающих жидкостей, т. к. обладает меньшей токсичностью, чем этиленгликоль. Рассчитайте в каком соотношении необходимо смешать массы пропиленгликоля и воды, чтобы понизить температуру замерзания раствора на 60 °С. Криоскопическая постоянная ( $K_T$ ) воды равна 1,86.

### Контрольные задачи по разделу «Растворы неэлектролитов»

1. Определите осмотическое давление раствора, в 500 см<sup>3</sup> которого растворено 45 г глюкозы  $C_6H_{12}O_6$  при 20 °С.  
 $R = 8,314$  дм<sup>3</sup>·кПа/(моль·К).
2. Рассчитайте величину осмотического давления раствора, в 1 дм<sup>3</sup> которого содержится 68,4 г сахара  $C_{12}H_{22}O_{11}$  при: а) 0 °С; б) 27 °С.  
 $R = 8,314$  дм<sup>3</sup>·кПа/(моль·К).
3. Какой раствор обладает большим осмотическим давлением: содержащий в 200 см<sup>3</sup> 18 г глюкозы  $C_6H_{12}O_6$  или содержащий в 200 см<sup>3</sup> 18 г формалина  $CH_2O$  при стандартных условиях?
4. Изотоничны ли (имеют ли одинаковое осмотическое давление) растворы: в 0,5 дм<sup>3</sup> первого содержится 4,5 г глюкозы  $C_6H_{12}O_6$ , во втором – 1 дм<sup>3</sup> содержит 17,1 г сахара  $C_{12}H_{22}O_{11}$  (условия стандартные)?
5. При какой температуре будет кипеть раствор, если в 200 см<sup>3</sup> воды растворить 43,2 г сахара  $C_{12}H_{22}O_{11}$ ? Эбуллиоскопическая постоянная ( $E_T$ ) для воды равна 0,52.

6. Сколько граммов глюкозы  $C_6H_{12}O_6$  надо растворить в  $100\text{ см}^3$  воды, чтобы: а) температура кипения раствора была  $101\text{ }^\circ\text{C}$ ; б) температура замерзания раствора была  $-1\text{ }^\circ\text{C}$ ? Эбуллиоскопическая постоянная ( $E_T$ ) для воды равна  $0,52$ ; криоскопическая постоянная ( $K_T$ ) равна  $1,86$ .

7. Определите температуру кипения и замерзания водного раствора сахара с массовой долей  $\omega(C_{12}H_{22}O_{11})$ , равной  $10\%$ . Эбуллиоскопическая постоянная ( $E_T$ ) для воды равна  $0,52$ ; криоскопическая ( $K_T$ ) для воды равна  $1,86$ .

8. Раствор воды, содержащий  $1,38\text{ г}$  глицерина в  $100\text{ см}^3$ , замерзает при температуре  $-0,279\text{ }^\circ\text{C}$ . 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  $\omega(C_2H_5OH)$ , равной  $40\%$ . Криоскопическая постоянная ( $K_T$ ) для воды равна  $1,86$ .

10. Сколько этиленгликоля  $C_2H_4(OH)_2$  надо взять на  $5\text{ дм}^3$  воды для приготовления антифриза, замерзающего при температуре  $-40\text{ }^\circ\text{C}$ ? Криоскопическая постоянная ( $K_T$ ) для воды равна  $1,86$ .

11. Водный раствор сахара закипает при температуре  $101\text{ }^\circ\text{C}$ . Определите массовую долю  $\omega(C_{12}H_{22}O_{11})$  в водном растворе. Эбуллиоскопическая постоянная ( $E_T$ ) для воды равна  $0,52$ .

12. Вычислите массу этиленгликоля  $C_2H_4(OH)_2$ , 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  $1,86$ .

13. Раствор, содержащий  $0,502\text{ г}$  ацетона  $(CH_3)_2CO$  в  $100\text{ г}$  уксусной кислоты, обнаруживает понижение температуры замерзания на  $0,339\text{ }^\circ\text{C}$ . Вычислите криоскопическую постоянную ( $K_T$ ) для уксусной кислоты.

14. Определите давление насыщенного пара над раствором, содержащим  $54\text{ г}$  глюкозы  $C_6H_{12}O_6$  в  $540\text{ см}^3$  воды при  $25\text{ }^\circ\text{C}$ . Давление насыщенного пара над водой при той же температуре равно  $2,1\text{ кПа}$ .

15. Раствор, содержащий  $6\text{ г}$  мочевины в  $50\text{ см}^3$  воды, замерзает при температуре  $-3,72\text{ }^\circ\text{C}$ . Вычислите молярную массу мочевины. Криоскопическая постоянная ( $K_T$ ) для воды равна  $1,86$ .

16. Какую массу глицерина  $C_3H_5(OH)_3$  надо взять на  $2\text{ дм}^3$  воды, чтобы получить раствор с температурой кипения  $106\text{ }^\circ\text{C}$ ? Эбуллиоскопическая постоянная ( $E_T$ ) для воды равна  $0,52$ .

17. Для приготовления антифриза на  $20\text{ дм}^3$  воды взято  $6\text{ дм}^3$  глицерина  $C_3H_5(OH)_3$ , плотность которого  $1,2\text{ г/см}^3$ . Чему равна температура замерзания приготовленного антифриза? Криоскопическая постоянная ( $K_T$ ) для воды равна  $1,86$ .

18. Раствор, содержащий  $12,8\text{ г}$  серы в  $250\text{ г}$  бензола, закипает при температуре на  $0,514\text{ }^\circ\text{C}$  выше, чем чистый растворитель. Эбуллиоскопическая постоянная ( $E_T$ ) для бензола равна  $2,57$ . Определите молекулярную формулу серы в растворенном состоянии. Сколько атомов серы входит в состав одной молекулы?

19. Раствор, в  $100\text{ см}^3$  которого содержится  $0,7\text{ г}$  гемоглобина, имеет осмотическое давление  $0,0038\text{ атм}$  при  $25\text{ }^\circ\text{C}$ . Определите молярную массу гемоглобина.  $R = 0,082\text{ дм}^3\cdot\text{атм}/(\text{моль}\cdot\text{К})$ .

20. Раствор, содержащий  $1,22\text{ г}$  бензойной кислоты  $C_6H_5COOH$  в  $100\text{ граммах}$  сероуглерода, кипит при  $46,529\text{ }^\circ\text{C}$ . Температура кипения сероуглерода равна  $46,3\text{ }^\circ\text{C}$ . Вычислите эбуллиоскопическую постоянную ( $E_T$ ) для сероуглерода.

21. Водный раствор сахара замерзает при температуре  $-0,96\text{ }^\circ\text{C}$ . Определите массовую долю  $\omega(C_{12}H_{22}O_{11})$  в растворе. Криоскопическая постоянная ( $K_T$ ) для воды равна  $1,86$ .

22. Рассчитайте понижение давления насыщенного пара над водным раствором этиленгликоля с массовой долей  $\omega(C_2H_4(OH)_2)$ , равной  $62\%$ , при  $298\text{ К}$ . Давление насыщенного пара над водой при той же температуре равно  $1,8\text{ кПа}$ .

23. При некоторой температуре давление пара над раствором, содержащим  $31\text{ г}$  анилина  $C_6H_5NH_2$  в  $30\text{ молях}$  эфира, равно  $4,6\text{ кПа}$ . Вычислите давление пара эфира 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.

25. Определите температуру замерзания водного раствора нитробензола с массовой долей  $\omega(C_6H_5NO_2)$ , равной  $22\%$ . Криоскопическая постоянная ( $K_T$ ) для воды равна  $1,86$ .

26. Раствор, в  $500\text{ см}^3$  которого содержится  $90\text{ г}$  глюкозы  $C_6H_{12}O_6$ , изотоничен (имеет одинаковое осмотическое давление) с раствором этиленгликоля  $C_2H_4(OH)_2$ . Сколько граммов этиленгликоля содержится в  $1\text{ дм}^3$  такого раствора?

27. Сколько граммов формалина  $CH_2O$  необходимо растворить в  $200\text{ см}^3$  воды, чтобы температура кипения этого раствора была

такой же, как раствора этиленгликоля с массовой долей  $\omega(\text{C}_2\text{H}_4(\text{OH})_2)$ , равной 30 %? Эбуллиоскопическая постоянная ( $\Delta T$ ) для воды равна 0,52.

28. Определите молярную массу этиленгликоля, если температура замерзания раствора, содержащего 620 г этиленгликоля в 930 см<sup>3</sup> воды, равна  $-20^\circ\text{C}$ .

29. Определите давление насыщенного пара над водным раствором глицерина с массовой долей  $\omega(\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3)$ , равной 4,6 %, при температуре 298 К. Давление насыщенного пара над водой при той же температуре равно 1,96 кПа.

30. Водный раствор этиленгликоля кипит при  $103,2^\circ\text{C}$ . Определите массовую долю  $\omega(\text{C}_2\text{H}_4(\text{OH})_2)$  в растворе. Эбуллиоскопическая постоянная ( $\Delta T$ ) для воды равна 0,52.

### Контрольные задачи по разделу «Растворы электролитов»

1. Определите кажущуюся степень диссоциации хлорида натрия в водном растворе, если 10 г NaCl растворено в 90 см<sup>3</sup> воды. Температура кипения этого раствора равна  $101,6^\circ\text{C}$ . Эбуллиоскопическая постоянная ( $\Delta T$ ) для воды равна 0,52.

2. Кажущаяся степень диссоциации сульфата натрия в водном растворе с массовой долей  $\omega(\text{Na}_2\text{SO}_4)$ , равной 10 %, составляет 0,65. Вычислите температуру кипения данного раствора. Эбуллиоскопическая постоянная ( $\Delta T$ ) 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  $-0,028^\circ\text{C}$ . 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  $C(\text{NaCl})$ , равной 2 моль/дм<sup>3</sup>, если осмотическое давление этого раствора при  $0^\circ\text{C}$  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 понизилась на  $3,01^\circ\text{C}$ . 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  $-0,13^\circ\text{C}$ . Вычислите кажущуюся степень диссоциации  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  в полученном растворе. Криоскопическая постоянная ( $K_T$ ) для воды равна 1,86.

7. Раствор, содержащий 12 г гидроксида натрия в 100 см<sup>3</sup> воды, кипит при температуре  $102,65^\circ\text{C}$ . Определите кажущуюся степень диссоциации NaOH в этом растворе. Эбуллиоскопическая постоянная ( $\Delta T$ ) для воды равна 0,52.

8. При какой температуре будет замерзать раствор хлорида кальция, содержащий 20 г соли в 1 дм<sup>3</sup> воды, если кажущаяся степень диссоциации  $\text{CaCl}_2$  в этом растворе равна 0,7? Криоскопическая постоянная ( $K_T$ ) для воды равна 1,86.

9. При какой температуре будет замерзать одномолярный 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. При какой температуре будет замерзать одномолярный водный раствор гидроксида натрия  $C_m(\text{NaOH}) = 1 \text{ моль/кг H}_2\text{O}$ , если кажущаяся степень диссоциации NaOH в данном растворе равна 0,73? Криоскопическая постоянная ( $K_T$ ) для воды равна 1,86.

11. Является ли сильным электролитом серная кислота, если ее водный раствор с массовой долей  $\omega(\text{H}_2\text{SO}_4)$ , равной 25 %, кипит при  $102,8^\circ\text{C}$ . 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 ( $\Delta T$ ) для воды равна 0,52.

12. Каково давление пара раствора, содержащего 20 г хлорида натрия в 450 см<sup>3</sup> воды при  $20^\circ\text{C}$ ? Давление насыщенного водяного пара при данной температуре равно 2,34 кПа. Кажущаяся степень диссоциации NaCl в растворе составляет 0,65.

13. Вычислите температуру замерзания водного раствора серной кислоты с массовой долей  $\omega(\text{H}_2\text{SO}_4)$ , равной 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. Вычислите осмотическое давление водного раствора, в 1 дм<sup>3</sup> которого содержится 87,1 г сульфата калия при  $27^\circ\text{C}$ . Кажущаяся

степень диссоциации  $K_2SO_4$  в растворе равна 0,53.  $R = 8,314 \text{ дм}^3 \cdot \text{кПа}/(\text{моль} \cdot \text{К})$ .

15. Вычислите осмотическое давление водного раствора, в  $200 \text{ см}^3$  которого находится 5,85 г хлорида натрия, при  $25^\circ \text{C}$ . Кажущаяся степень диссоциации  $NaCl$  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 г хлорида кальция. Кажущаяся степень диссоциации  $CaCl_2$  в водном растворе составляет 0,75. Криоскопическая постоянная ( $K_T$ ) для воды равна 1,86.

17. Рассчитайте понижение давления насыщенного пара раствора йодида калия, если в  $180 \text{ см}^3$  воды растворено 16,6 г  $KI$ . Кажущаяся степень диссоциации соли в водном растворе равна 0,7. Давление насыщенного пара над водой составляет 1,82 кПа.

18. Раствор, содержащий 3 моль свекловичного сахара в  $1 \text{ дм}^3$  раствора, изотоничен (имеет одинаковое осмотическое давление) с водным раствором нитрата калия молярной концентрации  $C(KNO_3) = 1,8 \text{ моль}/\text{дм}^3$ . Вычислите кажущуюся степень электролитической диссоциации  $KNO_3$  в указанном растворе.

19. Для водного раствора нитрата свинца (II) с молярной концентрацией  $C_m(Pb(NO_3)_2)$ , 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 ( $\Delta T$ ) для воды равна 0,52.

20. Эритроциты имеют осмотическое давление 6,08 атм при температуре человеческого тела, равной  $36,6^\circ \text{C}$ . При потере человеком крови ему вводят физиологический раствор хлорида натрия. Можно ли вводить человеку водный раствор хлорида натрия с массовой долей  $\omega(NaCl)$ , равной 0,7 %, плотностью  $1 \text{ г}/\text{см}^3$ , полагая, что диссоциация соли полная ( $\alpha = 1$ )? Температуру раствора принять равной  $36,6^\circ \text{C}$ .  $R = 0,082 \text{ атм} \cdot \text{дм}^3/(\text{моль} \cdot \text{К})$ .

21. Вычислите степень диссоциации и концентрацию ионов водорода при протолизе сернистой кислоты по I ступени в растворе с молярной концентрацией  $C(H_2SO_3)$ , равной  $1 \text{ моль}/\text{дм}^3$ . При  $25^\circ \text{C}$   $K_1(H_2SO_3) = 1,6 \cdot 10^{-2}$ .

22. Вычислите степень диссоциации и концентрацию ионов водорода при протолизе угольной кислоты по I ступени в растворе

с молярной концентрацией  $C(H_2CO_3)$ , равной  $0,01 \text{ моль}/\text{дм}^3$ . При  $25^\circ \text{C}$   $K_1(H_2CO_3) = 4,45 \cdot 10^{-7}$ .

23. Вычислите степень диссоциации и концентрацию ионов водорода при протолизе ортофосфорной кислоты по I ступени в растворе с молярной концентрацией  $C(H_3PO_4)$ , равной  $1 \text{ моль}/\text{дм}^3$ . При  $25^\circ \text{C}$   $K_1(H_3PO_4) = 7,5 \cdot 10^{-3}$ .

24. Вычислите степень диссоциации и концентрацию ионов водорода при протолизе йодноватой кислоты в растворе с молярной концентрацией  $C(HIO_3)$ , равной  $1 \text{ моль}/\text{дм}^3$ . При  $25^\circ \text{C}$   $K_1(HIO_3) = 1,7 \cdot 10^{-2}$ .

25. Вычислите степень диссоциации и концентрацию ионов водорода при протолизе сероводородной кислоты по I ступени в растворе с молярной концентрацией  $C(H_2S)$ , равной  $0,01 \text{ моль}/\text{дм}^3$ . При  $25^\circ \text{C}$   $K_1(H_2S) = 6 \cdot 10^{-8}$ .

26. Кажущаяся степень диссоциации гидроксида натрия в растворе равна 0,91. Определите относительное понижение давления насыщенного пара растворителя над раствором с массовой долей  $\omega(NaOH)$ , равной 30 % при 298 К. Давление насыщенного пара воды при 298 К равно  $P^0 = 2,16 \text{ кПа}$ .

27. Определите температуру кипения водного раствора азотной кислоты с массовой долей  $\omega(HNO_3)$ , равной 36 %. Кажущаяся степень диссоциации  $HNO_3$  равна 0,92. Эбуллиоскопическая постоянная ( $\Delta T$ ) для воды равна 0,52.

28. Определите кажущуюся степень диссоциации нитрата аммония в водном растворе с массовой долей  $\omega(NH_4NO_3)$ , равной 25 %, если его температура кипения составляет  $102,5^\circ \text{C}$ . Эбуллиоскопическая постоянная ( $\Delta T$ ) для воды равна 0,52.

29. Температура кипения водного раствора хлорида натрия с массовой долей  $\omega(NaCl)$ , равной 25 %, составляет  $104,6^\circ \text{C}$ . Рассчитайте кажущуюся степень диссоциации соли в растворе. Эбуллиоскопическая постоянная ( $\Delta T$ ) для воды равна 0,52.

30. Осмотическое давление водного раствора сульфата железа (II), в котором молярная концентрация эквивалента  $C_9(FeSO_4)$  равна  $0,1 \text{ моль}/\text{дм}^3$ , при  $0^\circ \text{C}$  равно 1,7 атм. Чему равна кажущаяся степень электролитической диссоциации  $FeSO_4$  в этом растворе?  $R = 0,082 \text{ атм} \cdot \text{дм}^3/(\text{моль} \cdot \text{К})$ .

## 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  $\text{CuSO}_4$ :



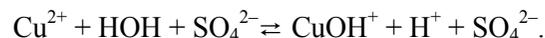
Соль образована слабым гидроксидом  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  и сильной кислотой  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , поэтому в реакцию с водой вступает катион  $\text{Cu}^{2+}$  слабого основания (гидролиз по катиону).

Гидролиз *по катиону* приводит к связыванию гидроксид-анионов воды и накоплению катионов водорода в растворе, образуя кислую среду (pH < 7).

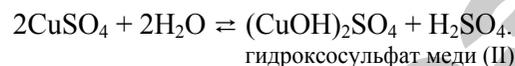
Запишем сокращенное ионно-молекулярное уравнение гидролиза по катиону:



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  $\text{K}_2\text{SO}_3$ :



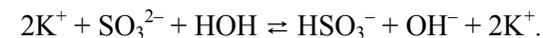
Соль образована слабой кислотой  $\text{H}_2\text{SO}_3$  и сильным гидроксидом  $\text{KOH}$ , поэтому в реакцию с водой вступает анион  $\text{SO}_3^{2-}$  слабой кислоты (гидролиз по аниону).

Гидролиз *по аниону* приводит к связыванию катионов водорода воды и накоплению гидроксид-анионов в растворе, создавая щелочную среду (pH > 7).

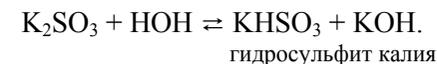
Запишем сокращенное ионно-молекулярное уравнение гидролиза, идущего по аниону:



Добавив в правую и левую части катионы калия  $\text{K}^+$  сильного основания, получим полное ионно-молекулярное уравнение гидролиза:

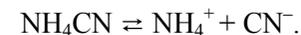


Соединив соответствующие катионы и анионы, получим уравнение гидролиза в молекулярной форме:



3. Напишите ионно-молекулярные и молекулярные уравнения гидролиза цианида аммония  $\text{NH}_4\text{CN}$ . Определите реакцию среды (pH).

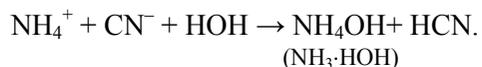
**Решение.** Особенно глубоко протекает гидролиз соли, образованной слабым гидроксидом и слабой кислотой (совместный гидролиз):



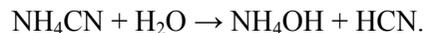
В реакцию с водой вступают как катионы, так и анионы соли.



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 H<sup>+</sup>, а при гидролизе по аниону – гидроксид-анионы OH<sup>-</sup>. 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<sub>o</sub>) больше константы кислотности (K<sub>к</sub>), то раствор будет иметь слабощелочную реакцию (pH > 7), при обратном соотношении констант – слабокислую (pH < 7).

При 25 °C константы кислотности и основности данных электролитов составляют K<sub>к</sub>(HCN) = 7,9·10<sup>-10</sup>; K<sub>o</sub>(NH<sub>4</sub>OH) = 2·10<sup>-5</sup>. Поскольку K<sub>o</sub>(NH<sub>4</sub>OH) > K<sub>к</sub>(HCN), то раствор имеет слабощелочную реакцию среды, т. е. pH > 7.

Если кислота и гидроксид, образующие соль, не только слабые электролиты, но и малорастворимы или неустойчивы и разлагаются с образованием летучих продуктов, то гидролиз соли протекает необратимо, т. е. сопровождается полным разложением соли.

4. Что произойдет при смешивании водного раствора хлорида алюминия AlCl<sub>3</sub> с водным раствором карбоната натрия Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>? Определите реакцию среды (pH).

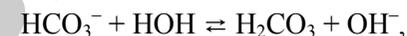
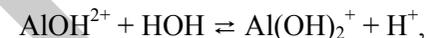
**Решение.** До смешивания в растворе каждой соли протекает гидролиз по I ступени, т. е. гидролизу подвергается катион алюминия Al<sup>3+</sup> и анион-карбонат CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>.



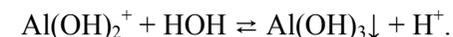
После смешивания растворов образующиеся катион водорода H<sup>+</sup> и гидроксид-анион OH<sup>-</sup> соединяются, образуя молекулы воды:



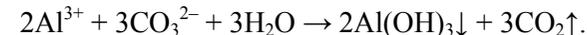
Это приводит к смещению равновесий обеих реакций вправо, и протеканию II ступени гидролиза:



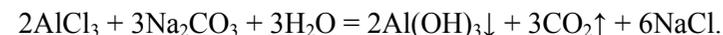
и III ступени гидролиза:



Сокращенное ионно-молекулярное уравнение совместного гидролиза:



Молекулярное уравнение гидролиза:



При 25 °C K<sub>3</sub>(Al(OH)<sub>3</sub>) = 1,38·10<sup>-9</sup> > K<sub>2</sub>(H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) = 4,7·10<sup>-11</sup>. Следовательно, среда слабощелочная, т. е. pH > 7.

5. Вычислите pH следующих водных растворов:

а) C(HBr) = 0,02 моль/дм<sup>3</sup>; б) C(NaOH) = 0,2 моль/дм<sup>3</sup>.

**Дано:**

C(HBr) = 0,02 моль/дм<sup>3</sup>

C(NaOH) = 0,2 моль/дм<sup>3</sup>

pH=?

**Решение**

а) 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:

$$\text{pH} = -\lg [\text{H}^+];$$

$$\text{pH} = -\lg (2 \cdot 10^{-2}) = -0,3 + 2 = 1,7.$$

б) 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 pOH:

$$\text{pOH} = -\lg [\text{OH}^-] = -\lg (2 \cdot 10^{-1}) = -0,3 + 1 = 0,7.$$

Определяем pH, используя формулу:

$$\text{pH} + \text{pOH} = 14.$$

$$\text{Следовательно, pH} = 14 - 0,7 = 13,3.$$

Ответ: а) pH = 1,7; б) pH = 13,3.

6. Вычислите pH водного раствора хлорноватистой кислоты с молярной концентрацией  $C(\text{HClO}) = 0,05 \text{ моль/дм}^3$ .

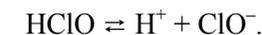
**Дано:**

$$C(\text{HClO}) = 0,05 \text{ моль/дм}^3$$

pH – ?

**Решение**

Хлорноватистая кислота является слабым электролитом, диссоциирует обратимо по уравнению реакции:



В соответствии с законом разбавления Оствальда степень диссоциации слабых электролитов определяем по формуле

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_{\text{к}}}{C}},$$

где  $K_{\text{к}}$  – константа кислотности, определяющая протекание диссоциации слабой кислоты при данной температуре, моль/дм<sup>3</sup>;

$C$  – молярная концентрация вещества, моль/дм<sup>3</sup>.

Поскольку

$$K_{\text{к}} = \frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{ClO}^-]}{[\text{HClO}]} = 5 \cdot 10^{-8} \text{ (при } 25 \text{ }^\circ\text{C)},$$

то, 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  $\text{HClO}$   $n(\text{H}^+) = 1$ , тогда  $C(\text{H}^+) = 5 \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-3} \cdot 1 = 5 \cdot 10^{-5}$  моль/дм<sup>3</sup>.  
В итоге,  $\text{pH} = -\lg(5,0 \cdot 10^{-5}) = 4,3$ .

Ответ:  $\text{pH} = 4,3$ .

7. Какая из двух солей –  $\text{NaCN}$  или  $\text{NaF}$  – при равных условиях ( $C(\text{NaCN}) = C(\text{NaF}) = 0,1$  моль/дм<sup>3</sup>) в большей степени подвергается гидролизу? Ответ мотивируйте расчетом степени гидролиза обеих солей.

<b>Дано:</b>	<b>Решение</b>
$C(\text{NaCN}) = 0,1$ моль/дм <sup>3</sup>	Определяем степени гидролиза солей из соотношения:
$C(\text{NaF}) = 0,1$ моль/дм <sup>3</sup>	
$h(\text{NaCN}) / h(\text{NaF}) - ?$	
	$h(\text{NaCN}) = \sqrt{\frac{K_r(\text{NaCN})}{C(\text{NaCN})}}$

Константа гидролиза  $K_r$  характеризует способность соли подвергаться гидролизу. Чем больше  $K_r$ , тем в большей степени протекает гидролиз.

$$K_r(\text{NaCN}) = K_b / K_k(\text{HCN}); K_k(\text{HCN}) = 7,9 \cdot 10^{-10} \text{ моль/дм}^3,$$

где  $K_k$  – константа кислотности кислоты (справочные данные);  
 $K_b$  – ионное произведение воды.

$$h(\text{NaF}) = \sqrt{\frac{K_r(\text{NaF})}{C(\text{NaF})}};$$

$$K_r(\text{NaF}) = K_b / K_k(\text{HF}); K_k(\text{HF}) = 6,6 \cdot 10^{-4} \text{ моль/дм}^3.$$

В итоге сравним, какая соль в большей степени подвергается гидролизу.

$$\frac{h(\text{NaCN})}{h(\text{NaF})} = \sqrt{\frac{K_k(\text{HF})}{K_k(\text{HCN})}} = \sqrt{\frac{6,6 \cdot 10^{-4}}{7,9 \cdot 10^{-10}}} = 9,14 \cdot 10^2 = 914.$$

Следовательно, цианид натрия в большей степени подвергается гидролизу.

Ответ:  $h(\text{NaCN}) / h(\text{NaF}) = 914$ .

### Задачи предлабораторного контроля

#### 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) ортофосфата натрия  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ; 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  $\text{BaS}$ .
- а) нитрата серебра  $\text{AgNO}_3$ ; б) сульфита лития  $\text{Li}_2\text{SO}_3$ .
- а) хлорида железа (II)  $\text{FeCl}_2$ ; б) цианида калия  $\text{KCN}$ .
- 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 молекулярные уравнения совместного гидролиза.

Укажите реакцию среды (рН) полученного раствора, если константы ионизации слабых электролитов равны:  $K_1(\text{HCN}) = 7,2 \cdot 10^{-10}$ ;  $K_1(\text{NH}_4\text{OH}) = 2 \cdot 10^{-5}$ .

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 молекулярные уравнения совместного гидролиза. Укажите реакцию среды (рН) полученного раствора, если константы протолита слабых электролитов равны:  $K_2(\text{H}_2\text{SO}_3) = 6 \cdot 10^{-8}$ ;  $K_2(\text{Fe}(\text{OH})_2) = 1,3 \cdot 10^{-4}$ .

3. Напишите ионно-молекулярные и молекулярные 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  $25^\circ\text{C}$   $K_3(\text{Al}(\text{OH})_3) = 1,38 \cdot 10^{-9}$ ;  $K_2(\text{H}_2\text{S}) = 1 \cdot 10^{-14}$ .

4. Вычислите рН водного раствора сероводородной кислоты с молярной концентрацией  $C(\text{H}_2\text{S})$ , равной  $0,05$  моль/дм<sup>3</sup>.

5. Какая из двух солей  $\text{NaNO}_2$  или  $\text{NaF}$  при равных условиях ( $C = 0,1$  моль/дм<sup>3</sup>) в большей степени подвергается гидролизу? Ответ мотивируйте расчетом степени гидролиза обеих солей. Составьте ионно-молекулярные и молекулярные уравнения гидролиза этих солей, если  $K_1(\text{HF}) = 6,6 \cdot 10^{-4}$ ;  $K_1(\text{HNO}_2) = 4 \cdot 10^{-4}$ .

### 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.  $\text{AgNO}_3$ ;  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ .

19.  $\text{FeCl}_3$ ;  $\text{K}_2\text{S}$ .

20.  $\text{CuCl}_2$ ;  $\text{NaF}$ .

Напишите ионно-молекулярные и молекулярные уравнения гидролиза, происходящего при смешивании растворов солей:

21.  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  и  $\text{Li}_2\text{S}$ . Определите реакцию среды, если при  $25^\circ\text{C}$   $K_3(\text{Al}(\text{OH})_3) = 1,38 \cdot 10^{-9}$ ;  $K_2(\text{H}_2\text{S}) = 1 \cdot 10^{-14}$ .

22.  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  и  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ . Определите реакцию среды, если при  $25^\circ\text{C}$   $K_1(\text{NH}_4\text{OH}) = 2 \cdot 10^{-5}$ ;  $K_2(\text{H}_2\text{SO}_3) = 6 \cdot 10^{-8}$ .

23.  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$  и  $\text{K}_3\text{PO}_4$ . Определите реакцию среды, если при  $25^\circ\text{C}$   $K_2(\text{Fe}(\text{OH})_2) = 1,3 \cdot 10^{-4}$ ;  $K_3(\text{H}_3\text{PO}_4) = 1 \cdot 10^{-12}$ .

24.  $\text{CuBr}_2$  и  $\text{KCN}$ . Определите реакцию среды, если при  $25^\circ\text{C}$   $K_2(\text{Cu}(\text{OH})_2) = 3,4 \cdot 10^{-7}$ ;  $K_1(\text{HCN}) = 7,9 \cdot 10^{-10}$ .

25.  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  и  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ . Определите реакцию среды, если при  $25^\circ\text{C}$   $K_2(\text{Pb}(\text{OH})_2) = 9,6 \cdot 10^{-4}$ ;  $K_2(\text{H}_2\text{CO}_3) = 4,7 \cdot 10^{-11}$ .

26. Вычислите рН водного раствора ортофосфорной кислоты с молярной концентрацией  $C(\text{H}_3\text{PO}_4)$ , равной  $0,1$  моль/дм<sup>3</sup>.

27. Вычислите рН водного раствора азотной кислоты с молярной концентрацией  $C(\text{HNO}_3)$ , равной  $0,05$  моль/дм<sup>3</sup>.

28. Вычислите рН водных растворов, если молярные концентрации веществ составляют: а)  $C(\text{HI}) = 0,01$  моль/дм<sup>3</sup>; б)  $C(\text{LiOH}) = 0,1$  моль/дм<sup>3</sup>.

29. Какая из двух солей  $\text{KNO}_2$  или  $\text{KCN}$ , при равных условиях ( $C(\text{KCN}) = C(\text{KNO}_2) = 0,1$  моль/дм<sup>3</sup>) в большей степени подвергается гидролизу? Ответ мотивируйте расчетом степени гидролиза обеих солей, если при  $25^\circ\text{C}$   $K_1(\text{HNO}_2) = 4 \cdot 10^{-4}$ ;  $K_1(\text{HCN}) = 7,9 \cdot 10^{-10}$ .

30. Вычислите рН водного раствора угольной кислоты с молярной концентрацией  $C(\text{H}_2\text{CO}_3)$ , равной  $0,05$  моль/дм<sup>3</sup>.

## 10. ГРУБОДИСПЕРСНЫЕ И КОЛЛОИДНЫЕ СИСТЕМЫ

### Типовые задачи и их решения

1. Назовите составные части мицеллы, составьте схему строения коллоидной частицы, полученной конденсацией из водных растворов бромида калия (в избытке) и нитрата серебра по реакции  $\text{AgNO}_3 + \text{KBr} (\text{избыток}) = \text{AgBr} (\text{золь}) \downarrow + \text{KNO}_3$ .

**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. 8):

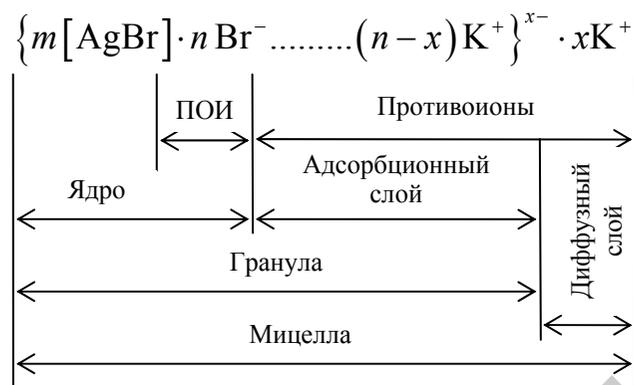


Рис. 8. Схема строения мицеллы

При формировании мицеллы образованный микрокристалл способен избирательно адсорбировать из раствора катионы  $\text{Ag}^+$  или бромид-анионы  $\text{Br}^-$ . Поскольку реакция проводится в избытке бромида калия, то на поверхности микрокристалла адсорбируются  $n$  ионов  $\text{Br}^-$ , которые формируют отрицательный заряд частицы и являются *потенциалопределяющими ионами* (ПОИ). Частица  $m[\text{AgBr}]$  вместе с потенциалопределяющими ионами  $n\text{Br}^-$ , т. е. заряженный микрокристалл бромида серебра, составляют *ядро* мицеллы. Адсорбированные потенциалопределяющие ионы притягивают

из раствора ионы противоположного знака (*противоионы*), имеющиеся в избытке (в данном случае катионы  $\text{K}^+$ , которые не могут войти в кристаллическую структуру ядра). Одна часть противоионов  $(n-x)\text{K}^+$  адсорбируется на поверхности ядра, образуя *адсорбционный слой* противоионов. Другая часть противоионов  $x\text{K}^+$  образуют подвижный *диффузный слой* противоионов, а их число определяется условием электронейтральности мицеллы. Ядро вместе с адсорбционным слоем называется *гранулой*, в данном случае заряженной отрицательно, так как отрицательный заряд потенциалопределяющих ионов  $n\text{Br}^-$  по величине превосходит положительный заряд противоионов адсорбционного слоя  $(n-x)\text{K}^+$ . Отсюда следует, что знак заряда гранулы соответствует знаку заряда потенциалопределяющих ионов. Гранула вместе с противоионами диффузного слоя является электронейтральной частицей дисперсной фазы и называется *мицеллой*.

### Задачи предлабораторного контроля

#### Задачи I уровня

Назовите составные части мицеллы и запишите уравнение реакции получения золя:

- $\{ [m \text{AgI}] \cdot n \text{Ag}^+ \dots (n-x) \text{NO}_3^- \}^{x+} \cdot x \text{NO}_3^-$ .
- $\{ [m \text{Al}(\text{OH})_3] \cdot n \text{OH}^- \dots (n-x) \text{Na}^+ \}^{x-} \cdot x \text{Na}^+$ .
- $\{ [m \text{Al}(\text{OH})_3] \cdot n \text{Al}^{3+} \dots 3(n-x) \text{Cl}^- \}^{3x+} \cdot 3x \text{Cl}^-$ .
- $\{ [m \text{BaSO}_4] \cdot n \text{Ba}^{2+} \dots 2(n-x) \text{Cl}^- \}^{2x+} \cdot 2x \text{Cl}^-$ .
- $\{ [m \text{BaSO}_4] \cdot n \text{SO}_4^{2-} \dots 2(n-x) \text{K}^+ \}^{2x-} \cdot 2x \text{K}^+$ .
- $\{ [m \text{H}_2\text{SiO}_3] \cdot n \text{SiO}_3^{2-} \dots 2(n-x) \text{K}^+ \}^{2x-} \cdot 2x \text{K}^+$ .
- $\{ [m \text{H}_2\text{SiO}_3] \cdot n \text{H}^+ \dots (n-x) \text{Br}^- \}^{x+} \cdot x \text{Br}^-$ .
- $\{ [m \text{Fe}(\text{OH})_3] \cdot n \text{OH}^- \dots (n-x) \text{K}^+ \}^{x-} \cdot x \text{K}^+$ .
- $\{ [m \text{Fe}(\text{OH})_3] \cdot n \text{FeOH}^{2+} \dots 2(n-x) \text{Cl}^- \}^{2x+} \cdot 2x \text{Cl}^-$ .
- $\{ [m \text{AgCl}] \cdot n \text{Cl}^- \dots (n-x) \text{Li}^+ \}^{x-} \cdot x \text{Li}^+$ .
- $\{ [m \text{Cr}(\text{OH})_3] \cdot n \text{Cr}^{3+} \dots 3(n-x) \text{NO}_3^- \}^{3x+} \cdot 3x \text{NO}_3^-$ .
- $\{ [m \text{Ni}(\text{OH})_2] \cdot n \text{OH}^- \dots (n-x) \text{K}^+ \}^{x-} \cdot x \text{K}^+$ .
- $\{ [m \text{Ni}(\text{OH})_2] \cdot n \text{Ni}^{2+} \dots 2(n-x) \text{Cl}^- \}^{2x+} \cdot 2x \text{Cl}^-$ .
- $\{ [m \text{PbSO}_4] \cdot n \text{SO}_4^{2-} \dots 2(n-x) \text{H}^+ \}^{2x-} \cdot 2x \text{H}^+$ .
- $\{ [m \text{PbSO}_4] \cdot n \text{Pb}^{2+} \dots 2(n-x) \text{NO}_3^- \}^{2x+} \cdot 2x \text{NO}_3^-$ .

## Задачи II уровня

Составьте схему строения коллоидной частицы (мицеллы), полученной по реакции, и выберите ион-коагулянт, имеющий наибольший порог коагуляции для данного золя:

1.  $\text{AgNO}_3 (\text{избыток}) + \text{KCl} = \text{AgCl} (\text{золь}) + \text{KNO}_3$ .
2.  $\text{AgNO}_3 + \text{HCl} (\text{избыток}) = \text{AgCl} (\text{золь}) + \text{HNO}_3$ .
3.  $\text{BaCl}_2 (\text{избыток}) + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{BaSO}_4 (\text{золь}) + 2\text{HCl}$ .
4.  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4 (\text{избыток}) = \text{BaSO}_4 (\text{золь}) + 2\text{NaNO}_3$ .
5.  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 (\text{избыток}) = \text{PbSO}_4 (\text{золь}) + 2\text{KNO}_3$ .
6.  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2 (\text{избыток}) + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{PbSO}_4 (\text{золь}) + 2\text{HNO}_3$ .

## Контрольные задачи

Назовите составные части мицеллы и запишите уравнение реакции получения золя:

1.  $\{[m \text{AgBr}] \cdot n \text{Ag}^+ \dots (n-x) \text{NO}_3^-\}^{x+} \cdot x \text{NO}_3^-$ .
2.  $\{[m \text{Mg}(\text{OH})_2] \cdot n \text{OH}^- \dots (n-x) \text{Na}^+\}^{x-} \cdot x \text{Na}^+$ .
3.  $\{[m \text{Al}(\text{OH})_3] \cdot n \text{Al}^{3+} \dots 3(n-x) \text{NO}_3^-\}^{3x+} \cdot 3x \text{NO}_3^-$ .
4.  $\{[m \text{CaSO}_4] \cdot n \text{Ca}^{2+} \dots 2(n-x) \text{Cl}^-\}^{2x+} \cdot 2x \text{Cl}^-$ .
5.  $\{[m \text{CaSO}_4] \cdot n \text{SO}_4^{2-} \dots 2(n-x) \text{K}^+\}^{2x-} \cdot 2x \text{K}^+$ .
6.  $\{[m \text{CaSiO}_3] \cdot n \text{SiO}_3^{2-} \dots 2(n-x) \text{K}^+\}^{2x-} \cdot 2x \text{K}^+$ .
7.  $\{[m \text{CaSiO}_3] \cdot n \text{Ca}^{2+} \dots 2(n-x) \text{Br}^-\}^{2x+} \cdot 2x \text{Br}^-$ .
8.  $\{[m \text{Fe}(\text{OH})_2] \cdot n \text{OH}^- \dots (n-x) \text{K}^+\}^{x-} \cdot x \text{K}^+$ .
9.  $\{[m \text{Fe}(\text{OH})_2] \cdot n \text{FeOH}^+ \dots (n-x) \text{Cl}^-\}^{x+} \cdot x \text{Cl}^-$ .
10.  $\{[m \text{AgBr}] \cdot n \text{Br}^- \dots (n-x) \text{Li}^+\}^{x-} \cdot x \text{Li}^+$ .
11.  $\{[m \text{Fe}(\text{OH})_3] \cdot n \text{Fe}^{3+} \dots 3(n-x) \text{NO}_3^-\}^{3x+} \cdot 3x \text{NO}_3^-$ .
12.  $\{[m \text{Cu}(\text{OH})_2] \cdot n \text{OH}^- \dots (n-x) \text{K}^+\}^{x-} \cdot x \text{K}^+$ .
13.  $\{[m \text{Cu}(\text{OH})_2] \cdot n \text{Cu}^{2+} \dots 2(n-x) \text{Cl}^-\}^{2x+} \cdot 2x \text{Cl}^-$ .
14.  $\{[m \text{Ag}_2\text{SO}_4] \cdot n \text{SO}_4^{2-} \dots 2(n-x) \text{H}^+\}^{2x-} \cdot 2x \text{H}^+$ .
15.  $\{[m \text{Ag}_2\text{SO}_4] \cdot n \text{Ag}^+ \dots (n-x) \text{NO}_3^-\}^{x+} \cdot x \text{NO}_3^-$ .

Составьте схему строения коллоидной частицы (мицеллы), полученной по реакции, и выберите ион-коагулянт, имеющий наибольший порог коагуляции для данного золя:

16.  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 (\text{избыток}) + 2\text{KF} = \text{MgF}_2 (\text{золь}) + 2\text{KNO}_3$ .
17.  $\text{FeBr}_2 (\text{избыток}) + \text{K}_2\text{S} = \text{FeS} (\text{золь}) + 2\text{KBr}$ .
18.  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NaOH} (\text{избыток}) = \text{Pb}(\text{OH})_2 (\text{золь}) + 2\text{NaNO}_3$ .

19.  $\text{MnCl}_2 + 2\text{KOH} (\text{избыток}) = \text{Mn}(\text{OH})_2 (\text{золь}) + 2\text{KCl}$ .
20.  $\text{ZnSO}_4 + 2\text{LiOH} (\text{избыток}) = \text{Zn}(\text{OH})_2 (\text{золь}) + \text{Li}_2\text{SO}_4$ .
21.  $\text{SrCl}_2 (\text{избыток}) + \text{Na}_2\text{SO}_4 = \text{SrSO}_4 (\text{золь}) + 2\text{NaCl}$ .
22.  $\text{K}_2\text{SiO}_3 (\text{избыток}) + \text{CaCl}_2 = \text{CaSiO}_3 (\text{золь}) + 2\text{KCl}$ .
23.  $\text{K}_2\text{SiO}_3 + \text{CaCl}_2 (\text{избыток}) = \text{CaSiO}_3 (\text{золь}) + 2\text{KCl}$ .
24.  $2\text{NaOH} (\text{избыток}) + \text{MgSO}_4 = \text{Mg}(\text{OH})_2 (\text{золь}) + \text{Na}_2\text{SO}_4$ .
25.  $2\text{NaOH} + \text{MgSO}_4 (\text{избыток}) = \text{Mg}(\text{OH})_2 (\text{золь}) + \text{Na}_2\text{SO}_4$ .
26.  $\text{FeCl}_2 (\text{избыток}) + 2\text{NaOH} = \text{Fe}(\text{OH})_2 (\text{золь}) + 2\text{NaCl}$ .
27.  $\text{FeCl}_2 + 2\text{NaOH} (\text{избыток}) = \text{Fe}(\text{OH})_2 (\text{золь}) + 2\text{NaCl}$ .
28.  $3\text{AgNO}_3 (\text{избыток}) + \text{H}_3\text{PO}_4 = \text{Ag}_3\text{PO}_4 (\text{золь}) + 3\text{HNO}_3$ .
29.  $2\text{AgNO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 (\text{избыток}) = \text{Ag}_2\text{SO}_4 (\text{золь}) + 2\text{HNO}_3$ .
30.  $\text{CuSO}_4 (\text{избыток}) + 2\text{NaOH} = \text{Cu}(\text{OH})_2 (\text{золь}) + \text{Na}_2\text{SO}_4$ .

## 11. ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ РЕАКЦИИ

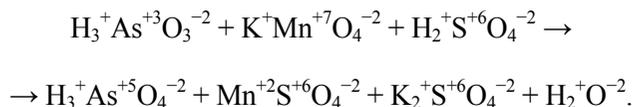
### Типовые задачи и их решения

1. Методом электронного баланса расставьте коэффициенты в схеме окислительно-восстановительной реакции (ОВР):

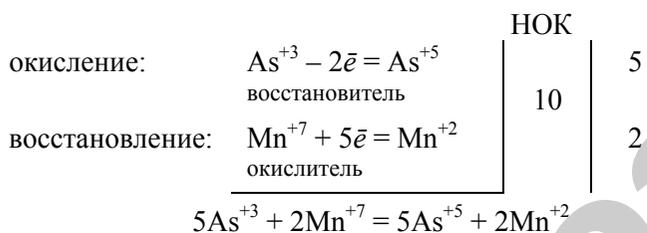


Запишите процессы окисления и восстановления. Определите окислитель и восстановитель.

**Решение.** Расставим степени окисления над всеми элементами в схеме окислительно-восстановительной реакции:



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. Затем уравниваем количество атомов других элементов в следующем порядке: 1) металл; 2) неметалл (кроме водорода и кислорода); 3) водород. Проверяем правильность расстановки коэффициентов, вычисляя количество атомов кислорода в правой и левой частях уравнения.

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  $\Delta_r G^\circ_{298}$ , пользуясь стандартными электродными потенциалами 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 реакции  $\Delta_r G^\circ_{298}$ :

$$\Delta_r G^\circ_{298} = -z \cdot F \cdot \Delta\varphi^\circ,$$

где  $z$  – число отданных или принятых электронов;  $z = 2$  (НОК);

$F$  – постоянная Фарадея, равная 96 500 Кл/моль;

$\Delta\varphi^\circ$  – разность потенциалов (или электродвижущая сила (ЭДС)) ОВР, В.

$$\Delta\varphi^\circ = \varphi^\circ_{\text{окислителя}} - \varphi^\circ_{\text{восстановителя}} = 1,07 - 1,81 = -0,74 \text{ В}.$$

Подставляем в формулу:

$$\Delta_r G^\circ_{298} = -2 \cdot 96500 \cdot (-0,74) = 142\,820 \text{ Дж} = 142,82 \text{ кДж},$$

т. к.  $\Delta_r G^\circ_{298} > 0$ , то реакция в стандартных условиях не протекает слева направо.

### Задачи предлабораторного контроля

#### Задачи I уровня

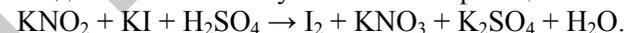
Используя метод электронного баланса, расставьте коэффициенты в схеме ОВР. Определите окислитель и восстановитель:

- $\text{HCl} + \text{CrO}_3 \rightarrow \text{CrCl}_3 + \text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O}.$
- $\text{FeSO}_4 + \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{H}_2\text{O}.$
- $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{KI} + \text{HCl} \rightarrow \text{I}_2 + \text{CrCl}_3 + \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}.$
- $\text{Cu} + \text{HNO}_3 (\text{разб.}) \rightarrow \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + \text{N}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}.$
- $\text{H}_2\text{S} + \text{KMnO}_4 + \text{HCl} \rightarrow \text{S} + \text{MnCl}_2 + \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}.$
- $\text{KBr} + \text{FeCl}_3 \rightarrow \text{Br}_2 + \text{FeCl}_2 + \text{KCl}.$
- $\text{Zn} + \text{H}_2\text{SO}_4 (\text{конц.}) \rightarrow \text{ZnSO}_4 + \text{S} + \text{H}_2\text{O}.$

- $\text{SO}_2 + \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{SO}_4 (\text{конц.}) \rightarrow \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{H}_2\text{O}.$
- $\text{Pb} + \text{HNO}_3 (\text{конц.}) \rightarrow \text{Pb}(\text{NO}_3)_2 + \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}.$
- $\text{Mg} + \text{H}_2\text{SO}_4 (\text{конц.}) \rightarrow \text{MgSO}_4 + \text{H}_2\text{S} + \text{H}_2\text{O}.$
- $\text{S} + \text{HNO}_3 (\text{конц.}) \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}.$
- $\text{P} + \text{H}_2\text{SO}_4 (\text{конц.}) \rightarrow \text{H}_3\text{PO}_4 + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}.$
- $\text{KCrO}_2 + \text{Br}_2 + \text{KOH} \rightarrow \text{KBr} + \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{O}.$
- $\text{Cu} + \text{H}_2\text{SO}_4 (\text{конц.}) \rightarrow \text{CuSO}_4 + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}.$
- $\text{NaNO}_2 + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{NaNO}_3 + \text{MnSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}.$

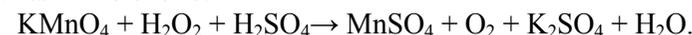
#### Задачи II уровня

1. Йод может быть получен по 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 реакции взаимодействия 29,2 г дихромата калия и 89,4 г хлорида калия в присутствии азотной кислоты, протекающей по схеме:



Укажите окислитель и восстановитель.

4. Расставьте коэффициенты в схеме реакции. Укажите окислитель и восстановитель. Рассчитайте  $\Delta_r G^\circ_{298}$  и определите направление протекания реакции:



если  $\text{Co}^{2+} - \bar{e} = \text{Co}^{3+}$ ,  $\varphi^\circ = 1,81 \text{ В}$ ;  $\text{Br}_2 + 2\bar{e} = 2\text{Br}^-$ ,  $\varphi^\circ = 1,07 \text{ В}$ .

5. Расставьте коэффициенты в схеме реакции. Укажите окислитель и восстановитель. Рассчитайте  $\Delta_r G^\circ_{298}$  и определите направление протекания реакции:



если  $\text{Br}_2 + 2\bar{e} = 2\text{Br}^-$ ,  $\varphi^\circ = 1,07 \text{ В}$ ;  $\text{Fe}^{2+} - \bar{e} = \text{Fe}^{3+}$ ,  $\varphi^\circ = 0,77 \text{ В}$ .

### Контрольные задачи

Методом электронного баланса расставьте коэффициенты в схеме ОВР. Укажите окислитель и восстановитель.

- $\text{KMnO}_4 + \text{HNO}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{MnSO}_4 + \text{HNO}_3 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ .
- $\text{P} + \text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{PO}_4 + \text{NO}$ .
- $\text{FeSO}_4 + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{MnSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ .
- $\text{HClO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_3 \rightarrow \text{HCl} + \text{H}_2\text{SO}_4$ .
- $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{KI} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{I}_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ .
- $\text{AsH}_3 + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{H}_3\text{AsO}_4 + \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ .
- $\text{C} + \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ .
- $\text{H}_2\text{S} + \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{S} + \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ .
- $\text{S} + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{SO}_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{MnSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ .
- $\text{H}_2\text{S} + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{S} + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{MnSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ .
- $\text{KI} + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{I}_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{MnSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ .
- $\text{CuSO}_4 + \text{P} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Cu} + \text{H}_3\text{PO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$ .
- $\text{C} + \text{H}_2\text{SO}_4 (\text{конц.}) \rightarrow \text{CO}_2 + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ .
- $\text{HI} + \text{H}_2\text{SO}_4 (\text{конц.}) \rightarrow \text{I}_2 + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ .
- $\text{Fe}(\text{OH})_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3$ .
- $\text{SO}_2 + \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{NO}$ .
- $\text{Cl}_2 + \text{KOH} \rightarrow \text{KCl} + \text{KClO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ .
- $\text{H}_2\text{S} + \text{HClO} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{HCl}$ .
- $\text{CrCl}_3 + \text{Br}_2 + \text{KOH} \rightarrow \text{K}_2\text{CrO}_4 + \text{KBr} + \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$ .
- $\text{Mg} + \text{HNO}_3 (\text{разб.}) \rightarrow \text{Mg}(\text{NO}_3)_2 + \text{N}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$ .
- $\text{FeS}_2 + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$ .
- $\text{Zn} + \text{HNO}_3 (\text{разб.}) \rightarrow \text{Zn}(\text{NO}_3)_2 + \text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ .
- $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{KNO}_3 + \text{KOH} \rightarrow \text{K}_2\text{FeO}_4 + \text{KNO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ .
- Расставьте коэффициенты в схеме ОВР:  
 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{KBr} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{KNO}_3 + \text{Cr}(\text{NO}_3)_3 + \text{Br}_2 + \text{H}_2\text{O}$ .

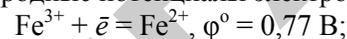
Укажите окислитель и восстановитель. Установите направление возможного протекания реакции, рассчитав  $\Delta_r G^\circ_{298}$ . Стандартные электродные потенциалы электрохимических полуреакций:



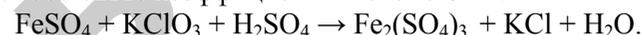
25. Расставьте коэффициенты в схеме ОВР:



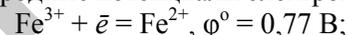
Определите окислитель и восстановитель. Установите направление возможного протекания реакции, рассчитав  $\Delta_r G^\circ_{298}$ . Стандартные электродные потенциалы электрохимических полуреакций:



26. Расставьте коэффициенты в схеме ОВР:



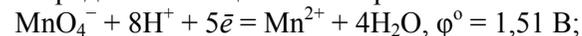
Определите окислитель и восстановитель. Установите направление возможного протекания реакции, рассчитав  $\Delta_r G^\circ_{298}$ . Стандартные электродные потенциалы электрохимических полуреакций:



27. 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:



28. 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:



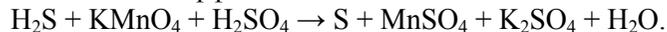
29. Расставьте коэффициенты в схеме ОВР:



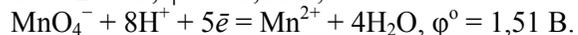
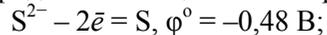
Определите окислитель и восстановитель. Установите направление возможного протекания реакции, рассчитав  $\Delta_r G^\circ_{298}$ . Стандартные электродные потенциалы электрохимических полуреакций:



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

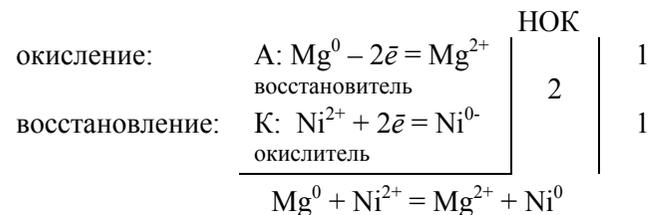
1. Составьте электрохимическую схему гальванического элемента (ГЭ), состоящего из пластинок магния и никеля, опущенных в растворы своих солей при стандартных условиях. Напишите электрохимические уравнения процессов, происходящих на электродах во внутренней цепи, и суммарной токообразующей реакции. Вычислите: 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.

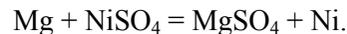
Схема ГЭ будет иметь вид (в ионно-молекулярной форме):



На аноде (А) идет процес 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:



Молекулярное суммарное уравнение токообразующей реакции:



При работе ГЭ электроны от магниевого электрода перемещаются по внешней цепи к никелевому электроду. В растворе (во внутренней цепи) наблюдается движение анионов  $\text{SO}_4^{2-}$  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:

$$\Delta\varphi^0 = (-0,25) - (-2,36) = 2,11 \text{ В}.$$

б) Рассчитаем изменение энергии Гиббса  $\Delta_r G^0_{298}$  реакции по формуле

$$\Delta_r G^0_{298} = -z \cdot F \cdot \Delta\varphi^0,$$

где  $z$  – число отданных или принятых электронов;  
 $F$  – постоянная Фарадея, равная 96500 А·с/моль.

Подставляем значения:

$$\Delta_r G^0_{298} = -2 \cdot 96\,500 \cdot 2,11 = -407\,230 \text{ Дж} = -407,23 \text{ кДж}.$$

Отрицательное значение  $\Delta_r G^0_{298}$  свидетельствует о возможности протекания суммарной токообразующей реакции в ГЭ слева направо.

в) вычисляем константу равновесия  $K_c$  токообразующей реакции, используя формулу:

$$\Delta_r G^0_{298} = -R \cdot T \cdot \ln K_c = -R \cdot T \cdot 2,303 \cdot \lg K_c = -5,71 \cdot \lg K_c, \text{ кДж}.$$

Откуда  $\lg K_c = -\Delta_r G^0_{298} / 5,71 = -(-407,23) / 5,71 = 71$ , 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:  $\Delta\varphi^0 = 2,11 \text{ В}$ ;  $\Delta_r G^0_{298} = -407,23 \text{ кДж}$ ;  $K_c = 10^{71}$ .

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 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):

$$\varphi^0_{2\text{H}^+/\text{H}_2} = 0 \text{ В}; \quad \varphi^0_{\text{Cr}^{3+}/\text{Cr}} = -0,74 \text{ В}.$$

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:

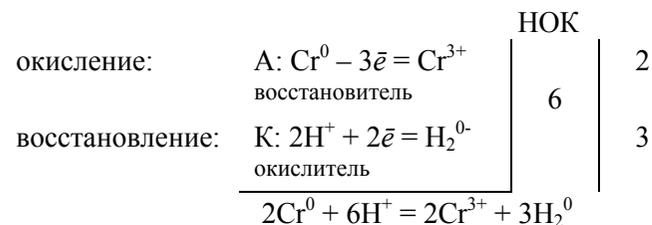
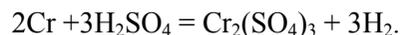


Таблица 4

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>+</sup> /Mg	-2,36	2H <sup>+</sup> /H <sub>2</sub>	0,00
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

Молекулярное уравнение суммарной токообразующей реакции:



Определяем равновесные электродные потенциалы, используя формулу Нернста:

$$\varphi = \varphi^0 + \frac{0,059}{n} \lg[\text{Me}^{n+}].$$

Поскольку стандартный электродный потенциал водородного электрода равен  $\varphi_{2\text{H}^+/\text{H}_2}^0 = 0$  В, то формула Нернста для равновесного потенциала на водородном электроде принимает вид:  $\varphi = -0,059 \cdot \text{pH}$ .

$$\varphi_{2\text{H}^+/\text{H}_2} = -0,059 \cdot 3 = -0,177 \text{ В}.$$

Равновесный потенциал хромового электрода составит:

$$\varphi_{\text{Cr}^{3+}/\text{Cr}} = \varphi_{\text{Cr}^{3+}/\text{Cr}}^0 + (0,059 / 3) \cdot \lg 10^{-3} = -0,74 - 0,059 = -0,799 \text{ В}.$$

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 предлабораторного контроля

#### 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 происходит 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.

## Задачи II уровня

6. Цинковый электрод погружен в раствор сульфата цинка с молярной концентрацией  $C(\text{ZnSO}_4)$ , равной  $0,0001$  моль/дм<sup>3</sup>. Вычислите значение равновесного потенциала цинкового электрода.

7. Хромовый электрод погружен в раствор хлорида хрома (III) с молярной концентрацией  $C(\text{CrCl}_3)$ , равной  $0,001$  моль/дм<sup>3</sup>. Вычислите значение равновесного потенциала хромового электрода.

8. Водородный электрод погружен в раствор серной кислоты с молярной концентрацией  $C(\text{H}_2\text{SO}_4)$ , равной  $0,05$  моль/дм<sup>3</sup>. Вычислите значение равновесного потенциала водородного электрода.

9. Никелевый электрод погружен в раствор сульфата никеля (II) с молярной концентрацией  $C(\text{NiSO}_4)$ , равной  $0,0001$  моль/дм<sup>3</sup>. Вычислите значение равновесного потенциала никелевого электрода.

10. Оловянный электрод погружен в раствор хлорида олова (II) с молярной концентрацией  $C(\text{SnCl}_2)$ , равной  $0,01$  моль/дм<sup>3</sup>. Вычислите значение равновесного потенциала оловянного электрода.

11. Составьте электрохимическую схему ГЭ, в котором происходит 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. Кадмиевый электрод погружен в раствор сульфата кадмия (II) с молярной концентрацией  $C(\text{CdSO}_4)$ , равной  $0,001$  моль/дм<sup>3</sup>. Вычислите значение равновесного потенциала кадмиевого электрода.

14. Составьте электрохимическую схему ГЭ, в котором протекает суммарная токообразующая реакция:  $\text{Mg} + \text{CuSO}_4 = \text{MgSO}_4 + \text{Cu}$ . 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.

1. Составьте электрохимическую схему ГЭ, состоящего из магниевого электрода, погруженного в раствор сульфата магния (II) с молярной концентрацией  $C(\text{MgSO}_4)$ , равной  $1$  моль/дм<sup>3</sup>, и никелевого электрода, погруженного в раствор сульфата никеля (II) с молярной концентрацией  $C(\text{NiSO}_4)$ , равной  $0,01$  моль/дм<sup>3</sup>. Рассчитайте значение ЭДС ГЭ, напишите уравнения электродных процессов и суммарной токообразующей реакции.

2. 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.

3. 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.

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:  $\Delta_f G_{298}^0(\text{Ni}^{2+}) = -42,2$  кДж/моль;  $\Delta_f G_{298}^0(\text{Fe}^{2+}) = -78,9$  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  $\Delta_r G_{298}^0$ , 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, происходящих 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, происходящих 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  $0,01 \text{ моль/дм}^3$  и 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 (I) 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 электродов, опущенных в раствор сульфата магния (II) с молярной концентрацией  $C(\text{MgSO}_4)$ , равной  $0,1 \text{ моль/дм}^3$ , и кадмиевой пластины, опу-

щенной 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 магниевго 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.** При работе ГЭ протекает токообразующая реакция:  $2\text{AgNO}_3 + \text{Mg} = \text{Mg}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{Ag}$ . 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.

**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),  $\Delta_r G^\circ_{298}$  и константу равновесия  $K_c$  токообразующей реакции. Сделайте вывод о направлении протекания реакции.

**25.** Составьте схему ГЭ, в котором протекает токообразующая реакция:  $\text{Mg} + \text{CdSO}_4 = \text{MgSO}_4 + \text{Cd}$ . 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.

### 13. КОРРОЗИЯ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

#### Типовые задачи и их решения

1. Составьте схему коррозионного гальванического элемента, возникающего при повреждении хромированного стального провода в нейтральной среде ( $H_2O$ ). Напишите уравнения электродных процессов. Каков характер покрытия (анодное или катодное)?

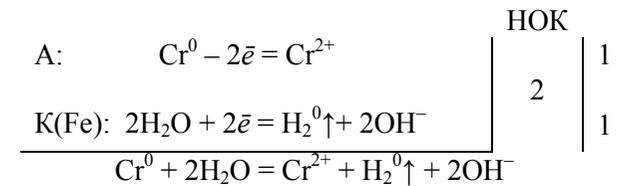
**Решение.** При контакте двух металлов возникает коррозионный микрогальванический элемент. По табл. 4 находим значения стандартных электродных потенциалов железа и хрома:  $\varphi_{Fe^{2+}/Fe}^0 = -0,44$  В;  $\varphi_{Cr^{2+}/Cr}^0 = -0,91$  В.

Так как  $\varphi_{Cr^{2+}/Cr}^0 < \varphi_{Fe^{2+}/Fe}^0$ , то анодом коррозионного ГЭ будет хром, т. е. он будет подвергаться коррозии (окисляться).

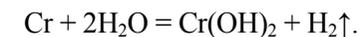
Составляем схему коррозионного ГЭ в нейтральной среде ( $H_2O$ ):



Атомы хрома, как атомы более активного металла, окисляются, отдавая свои электроны, и переходят в коррозионную среду в виде катионов  $Cr^{2+}$ , а на железе, играющем роль катода, происходит восстановление молекул воды (водородная деполяризация). 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 микрогальваническом 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) кислой среде с доступом кислорода ( $H^+ + O_2$ ); в) атмосферных условиях ( $H_2O + O_2$ ). Напишите уравнения электродных процессов и суммарной реакции процесса коррозии.

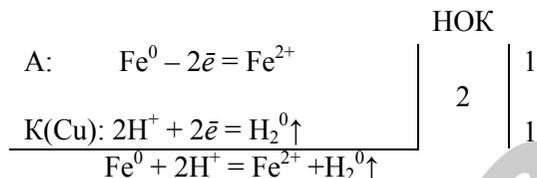
**Решение.** При контакте двух металлов возникает коррозионный микрогальванический элемент. По табл. 4 находим значения стандартных электродных потенциалов железа и меди:  $\varphi_{Fe^{2+}/Fe}^0 = -0,44$  В;  $\varphi_{Cu^{2+}/Cu}^0 = +0,34$  В.

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 ( $H^+$ ):

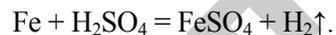


Атомы железа, как атомы более активного металла, окисляются, отдавая свои электроны, и переходят в коррозионную среду в виде катионов  $Fe^{2+}$ , а на меди, играющей роль катода, происходит восстановление катионов водорода  $H^+$  из раствора кислоты (водородная деполяризация). Уравнения катодного и анодного процессов, суммарной реакции коррозионного процесса в ионно-молекулярной форме имеют следующий вид:



В результате железо подвергается коррозии, а на меди выделяется газообразный водород.

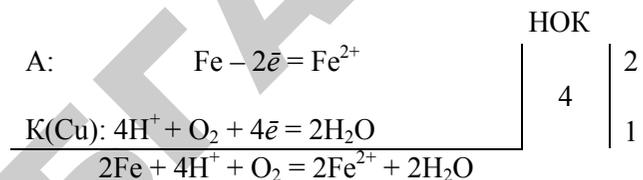
Суммарная реакция процесса коррозии в молекулярной форме:



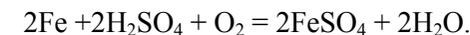
б) Составляем схему коррозионного гальванического элемента в кислой среде с доступом кислорода ( $H^+ + O_2$ ):



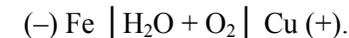
Составляем уравнения электродных процессов коррозии и суммарной реакции коррозии в ионно-молекулярной форме:



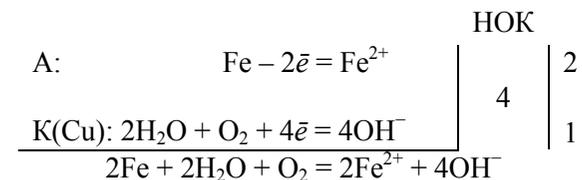
Суммарное уравнение реакции в молекулярной форме:



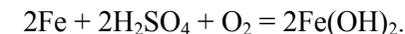
в) Составляем схему коррозионного гальванического элемента в атмосферных условиях ( $H_2O + O_2$ ):



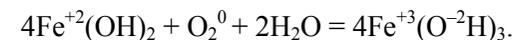
Составляем уравнения электродных процессов и суммарного уравнения реакции в ионно-молекулярной форме:

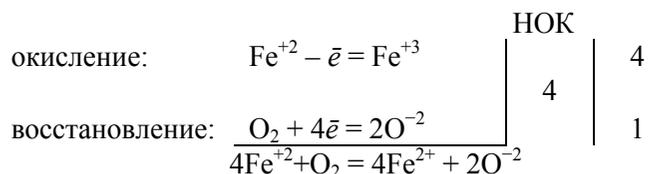


В молекулярной форме:

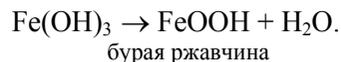


Под влиянием кислорода воздуха происходит дальнейшее окисление гидроксида железа (II) в гидроксид железа (III):





Гидроксид железа (III) дегидратируется с образованием оксида-гидроксида железа (III):



Суммарная реакция процесса коррозии в молекулярной форме:



3. Составьте схему коррозионного ГЭ, возникающего при контакте железной пластины площадью  $20 \text{ см}^2$  с никелевой пластиной 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:**  
 $S = 20 \text{ см}^2$   
 $\tau_1 = 40 \text{ мин}$   
 $V = 0,5 \text{ см}^3$   
 $\tau_2 = 2 \text{ часа}$   
 $\Delta m(\text{Fe}) = 3,7 \cdot 10^{-3} \text{ г}$   
 $\rho(\text{Fe}) = 7,9 \text{ г/см}^3$   
 $K_V - ?$   
 $K_m - ?$   
 $\Pi - ?$

**Решение**

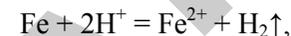
По табл. 4 находим значения стандартных электродных потенциалов железа и никеля:  $\varphi_{\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}}^0 = -0,44 \text{ В}$ ;  $\varphi_{\text{Ni}^{2+}/\text{Ni}}^0 = -0,25 \text{ В}$ . Так как  $\varphi_{\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}}^0 < \varphi_{\text{Ni}^{2+}/\text{Ni}}^0$ , то анодом коррозионного ГЭ будет железо.  
 Запишем схему коррозионного ГЭ:



Составим уравнения электродных процессов:



и суммарной реакции процесса коррозии (в ионно-молекулярной и молекулярной формах):



а) Рассчитаем объемный показатель коррозии  $K_V$  по формуле

$$K_V = \frac{V}{S \cdot \tau},$$

где  $V$  – объем выделившегося газа,  $\text{см}^3$ ;  
 $S$  – площадь поверхности корродируемого металла,  $\text{м}^2$ ;  
 $\tau$  – время процесса коррозии, час.

Подставляем значения в формулу

$$K_V = \frac{0,5}{20 \cdot 10^{-4} \cdot (40 / 60)} = 375 \text{ см}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{час}).$$

Рассчитываем весовой показатель коррозии  $K_m$  по формуле

$$K_m = \frac{M_3(\text{Me}) \cdot K_V}{V_3(\Gamma)},$$

где  $M_3(\text{Me})$  – молярная масса эквивалента металла,  $\text{г/моль}$ ;  
 $V_3(\Gamma)$  – молярный объем эквивалента газа (н. у.),  $\text{см}^3/\text{моль}$ .

На катоде выделяется водород, для которого

$$V_3(\text{H}_2) = 22\,400 / 2 = 11\,200 \text{ см}^3/\text{моль}.$$

$$M_3(\text{Fe}) = M(\text{Fe}) / 2 = 56 / 2 = 28 \text{ г/моль}.$$

Подставляем значения

$$K_m = \frac{375 \cdot 28}{11200} = 0,94 \text{ г/}(\text{м}^2 \cdot \text{час}).$$

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

$$K_m = \frac{3,7 \cdot 10^{-3}}{20 \cdot 10^{-4} \cdot 2} = 0,925 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{час}).$$

Рассчитываем глубинный показатель коррозии  $\Pi$  по формуле

$$\Pi = \frac{K_m \cdot 8,76}{\rho(\text{Fe})}$$

Подставляем значения

$$\Pi = \frac{0,925 \cdot 8,76}{7,9} = 1,03 \text{ мм}/\text{год}.$$

Ответ: а)  $K_V = 375 \text{ см}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{час})$ ;  $K_m = 0,94 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{час})$ ;  
б)  $K_m = 0,925 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{час})$ ;  $\Pi = 1,03 \text{ мм}/\text{год}$ .

### Задачи предлабораторного контроля

#### Задачи I уровня

1. Составьте схему коррозионного ГЭ, возникающего при повреждении хромированного железа в атмосферных условиях ( $\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$ ). Напишите уравнения электродных процессов. Каков характер покрытия (анодное или катодное)?

2. Составьте схему коррозионного ГЭ, возникающего при повреждении хромированного железа в кислой ( $\text{H}^+$ ) среде. Напишите уравнения электродных процессов. Каков характер покрытия (анодное или катодное)?

3. Составьте схему коррозионного ГЭ, возникающего при повреждении луженого железа в атмосферных условиях ( $\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$ ).

Напишите уравнения электродных процессов. Каков характер покрытия (анодное или катодное)?

4. Составьте схему коррозионного ГЭ, возникающего при повреждении луженого железа в кислой ( $\text{H}^+$ ) среде. Напишите уравнения электродных процессов. Каков характер покрытия (анодное или катодное)?

5. Составьте схему коррозионного ГЭ, возникающего при повреждении омедненного стального провода в атмосферных условиях ( $\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$ ). Напишите уравнения электродных процессов. Каков характер покрытия (анодное или катодное)?

6. Составьте схему коррозионного ГЭ, возникающего при повреждении омедненного стального провода в кислой ( $\text{H}^+$ ) среде. Напишите уравнения электродных процессов. Каков характер покрытия (анодное или катодное)?

7. Составьте схему коррозионного ГЭ, возникающего при повреждении никелированного железа в атмосферных условиях ( $\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$ ). Напишите уравнения электродных процессов. Каков характер покрытия (анодное или катодное)?

8. Составьте схему коррозионного ГЭ, возникающего при повреждении никелированного железа в кислой ( $\text{H}^+$ ) среде. Напишите уравнения электродных процессов. Каков характер покрытия (анодное или катодное)?

9. Составьте схему коррозионного ГЭ, возникающего при повреждении кадмированной железной детали в атмосферных условиях ( $\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$ ). Напишите уравнения электродных процессов. Каков характер покрытия (анодное или катодное)?

10. Составьте схему коррозионного ГЭ, возникающего при повреждении кадмированной железной детали в кислой ( $\text{H}^+$ ) среде. Напишите уравнения электродных процессов. Каков характер покрытия (анодное или катодное)?

11. Составьте схему коррозионного ГЭ, возникающего при повреждении хромированного железа в кислой среде с доступом кислорода ( $\text{H}^+ + \text{O}_2$ ). Напишите уравнения электродных процессов. Каков характер покрытия (анодное или катодное)?

12. Составьте схему коррозионного ГЭ, возникающего при повреждении луженого железа в кислой среде с доступом кислорода ( $\text{H}^+ + \text{O}_2$ ). Напишите уравнения электродных процессов. Каков характер покрытия (анодное или катодное)?

13. Составьте схему коррозионного ГЭ, возникающего при повреждении омедненного стального провода в кислой среде с доступом кислорода ( $H^+ + O_2$ ). Напишите уравнения электродных процессов. Каков характер покрытия (анодное или катодное)?

14. Составьте схему коррозионного ГЭ, возникающего при повреждении кадмированной железной детали в кислой среде с доступом кислорода ( $H^+ + O_2$ ). Напишите уравнения электродных процессов. Каков характер покрытия (анодное или катодное)?

15. Составьте схему коррозионного ГЭ, возникающего при повреждении оцинкованного железа в кислой среде с доступом кислорода ( $H^+ + O_2$ ). Напишите уравнения электродных процессов. Каков характер покрытия (анодное или катодное)?

### 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  $4 \cdot 10^{-4} \text{ г}$ . 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 (анодное или катодное)? 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 (анодное или катодное)? Вычислите объемный и весовой показатели коррозии, если за 1,5 ч потеря массы железа составила  $2,8 \cdot 10^{-4} \text{ г}$ . 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 нарушении покрытия луженого 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?

2. Составьте схему коррозионного ГЭ, образованного при нарушении покрытия луженого железа на площади  $15 \text{ см}^2$  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 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 луженого 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?

4. Составьте схему коррозионного ГЭ, образованного при нарушении покрытия оцинкованного 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?

5. Составьте схему коррозионного ГЭ, образованного при нарушении покрытия оцинкованного 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? Вычислите весовой показатель коррозии, если объемный показатель составляет  $450 \text{ см}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{час})$ .

6. Составьте схему коррозионного ГЭ, образованного при нарушении 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 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 нарушении 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  $500 \text{ см}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{час})$ .

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 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 часа 10 мин процесса коррозии выделилось  $0,4 \text{ см}^3$  газа (н. у.).

15. Хромированная железная деталь имеет нарушение покрытия. Составьте схему образовавшегося коррозионного гальванического элемента 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 ( $H_2O + O_2$ ), используя величины стандартных электродных потенциалов металлов (табл. 4). Напишите уравнения электродных процессов и ионно-молекулярную суммарную реакцию процесса коррозии. Каков характер покрытия?

18. Имеется повреждение на позолоченном железном (стальном) изделии. 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?

19. Магний и цинк 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.

20. Составьте схему коррозионного ГЭ, возникающего при повреждении хромированной стальной (железной) детали 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?

21. Имеется повреждение слоя платины на стальном (железном) контакте. 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.

22. Составьте схему коррозионного ГЭ, возникающего при повреждении слоя кадмия на стальной (железной) детали 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?

23. Составьте схему коррозионного ГЭ, возникающего при повреждении хромированной 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?

24. Составьте схему коррозионного ГЭ, возникающего при повреждении 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 коррозионного ГЭ 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?

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. Магний и олово находятся в контакте на площади  $20 \text{ см}^2$  в кислой среде ( $H^+$ ). Составьте схему образовавшегося коррозионного гальванического элемента, 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  $30 \text{ см}^2$  слоя кадмия на стальной (железной) детали 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 и весовой показатели коррозии, если за 1 ч 40 мин процесса коррозии выделилось  $0,6 \text{ см}^3$  газа (н. у.).

29. Склепанные железная и медная пластинки находятся в кислой среде ( $\text{H}^+$ ) и образуют контакт на площади  $10 \text{ см}^2$ . 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 ( $\text{H}^+ + \text{O}_2$ ). 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)  $\text{LiCl}$ ; б)  $\text{AgNO}_3$ . Какие вещества выделяются на электродах? Какой объем кислорода и какая масса серебра выделяется из раствора  $\text{AgNO}_3$ , если из раствора  $\text{LiCl}$  выделилось  $420 \text{ см}^3$  хлора (н. у.)? Количества электричества, прошедшие через растворы, одинаковые.

Дано:	Решение
$V(\text{Cl}_2) = 420 \text{ см}^3$	а) Схема электролиза водного раствора $\text{LiCl}$ на инертных электродах. В водном растворе имеются ионы: $\text{LiCl} \rightarrow \text{Li}^+ + \text{Cl}^-$ .
$V(\text{O}_2) - ?$	
$m(\text{Ag}) - ?$	
	К(-): $\text{Li}^+$ ;
	А(+): (инертный):
	$2\text{Cl}^- - 2\bar{e} = \text{Cl}_2\uparrow$ ;
	$2\text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} = \text{H}_2\uparrow + 2\text{OH}^-$
	$\text{H}_2\text{O}$

На катоде выделяется водород, на аноде выделяется хлор.

б) Схема электролиза водного раствора  $\text{AgNO}_3$  на инертных электродах.

В водном растворе имеются ионы:  $\text{AgNO}_3 \rightarrow \text{Ag}^+ + \text{NO}_3^-$ .

К(-):	А(+): (инертный):
$\text{Ag}^+ + \bar{e} = \text{Ag}$ ;	$\text{NO}_3^-$ ;
$\text{H}_2\text{O}$	$2\text{H}_2\text{O} - 4\bar{e} = \text{O}_2\uparrow + 4\text{H}^+$

На катоде выделяется серебро, на аноде выделяется кислород.

По второму закону электролиза:

$$\frac{V(\text{Cl}_2)}{V_3(\text{Cl}_2)} = \frac{V(\text{O}_2)}{V_3(\text{O}_2)},$$

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:

$$V(\text{O}_2) = \frac{V(\text{Cl}_2) \cdot V_3(\text{O}_2)}{V_3(\text{Cl}_2)} = \frac{420 \cdot 5600}{11200} = 210 \text{ см}^3.$$

По закону электролиза:

$$\frac{m(\text{Ag})}{M_3(\text{Ag})} = \frac{V(\text{O}_2)}{V_3(\text{O}_2)},$$

где  $M_3(\text{Ag}) = 108 / 1 = 108$  г/моль.

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:**

$$S = 30 \text{ см}^2$$

$$h = 0,15 \text{ мм}$$

$$I = 5 \text{ А}$$

$$\text{ВТ} = 0,97$$

$$\rho(\text{Zn}) = 7,13 \text{ г/см}^3$$

$$\tau = ?$$

**Решение**

а) Схема электролиза водного раствора  $\text{ZnCl}_2$  на инертных электродах.

В водном растворе имеются ионы:  
 $\text{ZnCl}_2 \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{Cl}^-$ .



На катоде выделяются цинк и водород. На аноде – хлор.

б) Схема электролиза водного раствора  $\text{ZnCl}_2$  с растворимым цинковым анодом



На катоде выделяются цинк и водород. На аноде растворяется цинк. 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:

$$m(\text{Zn}) = \frac{M_3(\text{Zn}) \cdot I \cdot \tau}{F} \text{ ВТ},$$

где  $I$  – сила тока,  $\text{А}$ ;

$\tau$  – время электролиза,  $\text{час}$ ;

$F$  – постоянная Фарадея, равная  $26,8 \text{ А} \cdot \text{час/моль}$ .

ВТ – выход по току.

Рассчитываем время электролиза:

$$\tau = \frac{m(\text{Zn}) \cdot F}{M_3(\text{Zn}) \cdot I \cdot \text{ВТ}} = \frac{3,21 \cdot 26,8}{32,5 \cdot 5 \cdot 0,97} = 0,55 \text{ ч.}$$

где  $M_3(\text{Zn}) = M(\text{Zn}) / 2 = 65 / 2 = 32,5 \text{ г/моль}$ .

Ответ:  $\tau = 0,55 \text{ ч.}$

3. Какие вещества и в каком объеме выделяются на инертных электродах, если проводить электролиз водного раствора  $\text{NaNO}_3$  в течение 3 часов 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.

<b>Дано:</b>	<b>Решение</b>	
$\tau = 3$ часа	Схема электролиза водного раствора $\text{NaNO}_3$ на инертных электродах.	
$I = 2$ А	В водном растворе имеются ионы:	
$t = 20$ °С	$\text{NaNO}_3 \rightarrow \text{Na}^+ + \text{NO}_3^-$ .	
$p = 98$ кПа	К(-):	А(+)(инертный):
$p_0 = 101,3$ кПа	$\text{Na}^+$ ;	$\text{NO}_3^-$ ;
$T_0 = 273$ К	$2\text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} = \text{H}_2\uparrow + 2\text{OH}^-$	$2\text{H}_2\text{O} - 4\bar{e} = \text{O}_2\uparrow + 4\text{H}^+$
$V(\text{O}_2) - ?$		
$V(\text{H}_2) - ?$		

На катоде выделяется водород, на аноде выделяется кислород.

По закону электролиза объемы выделившихся водорода и кислорода при нормальных условиях:

$$V_0(\text{H}_2) = \frac{V_3(\text{H}_2) \cdot I \cdot \tau}{F} = \frac{11,2 \cdot 2 \cdot 3}{26,8} = 2,5 \text{ дм}^3,$$

где  $V_3(\text{H}_2) = 11,2$  дм<sup>3</sup>/моль.

$$V_0(\text{O}_2) = \frac{V_3(\text{O}_2) \cdot I \cdot \tau}{F} = \frac{5,6 \cdot 2 \cdot 3}{26,8} = 1,25 \text{ дм}^3,$$

где  $V_3(\text{O}_2) = 5,6$  дм<sup>3</sup>/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:  $V(\text{O}_2) = 1,4$  дм<sup>3</sup>;  $V(\text{H}_2) = 2,8$  дм<sup>3</sup>.

4. Определите молярную концентрацию эквивалента  $\text{AgNO}_3$  в растворе, если для выделения всего серебра из 100 см<sup>3</sup> этого раствора потребовалось пропустить ток силой 2 А в течение 30 мин. Составьте схему электролиза водного раствора  $\text{AgNO}_3$  на инертных электродах.

<b>Дано:</b>	<b>Решение</b>
$V_{\text{р-ра}} = 100$ см <sup>3</sup>	Схему электролиза см. в задаче 1 (б).
$I = 2$ А	Молярная концентрация эквивалента $\text{AgNO}_3$
$\tau = 30$ мин	в растворе определяется по формуле
$C_3(\text{AgNO}_3) - ?$	
	$C_3(\text{AgNO}_3) = \frac{n_3(\text{AgNO}_3)}{V_{\text{р-ра}}} = \frac{m(\text{AgNO}_3)}{M_3(\text{AgNO}_3) \cdot V_{\text{р-ра}}}.$

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.

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:

$$C_3(\text{AgNO}_3) = \frac{n_3(\text{AgNO}_3)}{V_{\text{р-ра}}} = \frac{I \cdot \tau}{F \cdot V_{\text{р-ра}}} = \frac{2 \cdot 30 \cdot 60}{96500 \cdot 0,1} = 0,4 \text{ моль/дм}^3,$$

где  $\tau$  – время в с;

$V_{\text{р-ра}}$  – объем раствора в  $\text{дм}^3$ ;

$F = 96\,500 \text{ А} \cdot \text{с/моль}$ .

*Ответ:*  $C_3(\text{AgNO}_3) = 0,4 \text{ моль/дм}^3$ .

### Задачи предлабораторного контроля

#### Задачи I уровня

1. Напишите уравнения электродных процессов электролиза водного раствора хлорида натрия  $\text{NaCl}$  (графитовые электроды).
2. Напишите уравнения электродных процессов электролиза водного раствора сульфата никеля (II)  $\text{NiSO}_4$  (графитовые электроды).
3. Напишите уравнения электродных процессов электролиза водного раствора хлорида никеля (II)  $\text{NiCl}_2$  (никелевый анод).
4. Напишите уравнения электродных процессов электролиза водного раствора хлорида магния  $\text{MgCl}_2$  (графитовые электроды).
5. Напишите уравнения электродных процессов электролиза водного раствора нитрата кальция  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  (графитовые электроды).
6. Напишите уравнения электродных процессов электролиза водного раствора нитрата меди (II)  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$  (графитовые электроды).
7. Какие вещества выделяются на графитовых электродах, если проводить электролиз водного раствора сульфата калия  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ? Напишите уравнения электродных процессов.
8. Напишите уравнения электродных процессов, происходящих при электролизе водного раствора сульфата цинка  $\text{ZnSO}_4$  (цинковый анод).

9. Напишите уравнения электродных процессов электролиза водного раствора хлорида меди (II)  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$  (медный анод).

10. Напишите уравнения электродных процессов при электролизе водного раствора хлорида кальция  $\text{CaCl}_2$  (графитовые электроды).

11. Напишите уравнения электродных процессов при электролизе водного раствора нитрата кадмия (II)  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$  (графитовые электроды).

12. Напишите уравнения электродных процессов при электролизе водного раствора нитрата серебра (I)  $\text{AgNO}_3$  (серебряный анод).

13. Напишите уравнения электродных процессов при электролизе расплава гидроксида натрия  $\text{NaOH}$ .

14. Какие вещества выделяются на электродах при электролизе расплава хлорида натрия  $\text{NaCl}$ ? Напишите уравнения электродных процессов.

15. Какие вещества выделяются на электродах при электролизе водного раствора сульфата олова (II)  $\text{SnSO}_4$  (оловянный анод)? Напишите уравнения электродных процессов.

#### Задачи II уровня

1. При электролизе водного раствора нитрата кальция  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  на аноде (графитовые электроды) выделилось  $820 \text{ см}^3$  газа (н. у.). Напишите уравнения электродных процессов. Какое вещество и в каком количестве выделилось на катоде?
2. При электролизе водного раствора сульфата меди (II)  $\text{CuSO}_4$  на аноде (графитовые электроды) выделилось  $5600 \text{ см}^3$  газа (н. у.). Напишите уравнения электродных процессов. Какое вещество и в каком количестве выделилось на катоде?
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 (I) 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), равным 0,86?

3. Составьте схемы электролиза водных растворов солей на инертных электродах: а) йодида натрия  $\text{NaI}$ ; 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  $\text{KOH}$ , если электролиз вести в течение 2,5 часов при силе тока 1,5 А, температуре  $27^\circ\text{C}$  и давлении 102 кПа? Составьте схему электролиза водного раствора  $\text{KOH}$  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. Какая масса кадмия вос-

становится, если при электролизе на аноде выделилось  $1120 \text{ см}^3$  газа (н. у.)?

8. Составьте схему электролиза водного раствора нитрата висмута (III)  $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$  на инертных электродах. Какой объем кислорода (н. у.) образуется при электролизе, 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 выделившегося 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 (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 и выходе по току 0,98, чтобы получить толщину покрытия 0,14 мм? Плотность серебра равна 10,5 г/см<sup>3</sup>.

16. Определите молярную концентрацию эквивалента сульфата меди (II) в растворе, если для выделения всей меди из 150 см<sup>3</sup> 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 см<sup>3</sup> раствора с молярной концентрацией эквивалента  $C_3(\text{CuCl}_2)$ , равной 0,25 моль/дм<sup>3</sup>, при силе тока 2 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 см<sup>3</sup> раствора нитрата меди (II) с молярной концентрацией эквивалента  $C_3(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2)$ , равной 0,1 моль/дм<sup>3</sup>? Составьте схему электролиза водного раствора  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$  на инертных электродах.

21. Сколько времени потребуется для выделения всего марганца из 100 см<sup>3</sup> водного раствора хлорида марганца (II) с молярной концентрацией эквивалента  $C_3(\text{MnCl}_2)$ , равной 0,1 моль/дм<sup>3</sup>, при силе тока 1 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 дм<sup>3</sup> кислорода в течение 3 ч при температуре 17 °С и давлении 98 кПа? Составьте схему электролиза водного раствора  $\text{NaOH}$  натрия на инертных электродах.

23. Определите объемы газов, которые выделяются при электролизе водного раствора соляной кислоты  $\text{HCl}$ , если через электролизер пропустили ток силой 10 А в течение 2 ч при температуре 25 °С

и давлении 95 кПа. Составьте схему электролиза водного раствора соляной кислоты на инертных электродах.

24. При электролизе водного раствора сульфата никеля (II) выделилось 3,8 дм<sup>3</sup> кислорода, измеренного при температуре 26 °С и давлении 100 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 г меди. Электролиз проводился при силе тока 2,5 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 А выделилось 9,6 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 см<sup>3</sup> водного раствора хлорида ртути (II) с молярной концентрацией эквивалента  $C_3(\text{HgCl}_2)$ , равной 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. 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.

29. 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 дм<sup>3</sup> хлора (н. у.)? Составьте схемы электролиза всех водных растворов солей на инертных электродах.

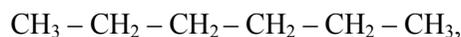
30. Определите объемы газов, выделившихся в результате электролиза водного раствора сульфата натрия в течение 1,5 ч при силе тока 3,5 А, температуре 22 °С и давлении 96 кПа. Составьте схему электролиза водного раствора  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  на инертных электродах.

## 15. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА УГЛЕВОДОРОДОВ

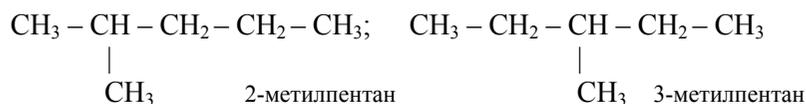
### Типовые задачи и их решения

1. Составьте структурные формулы изомеров алкана  $C_6H_{14}$  и назовите их по систематической номенклатуре IUPAC.

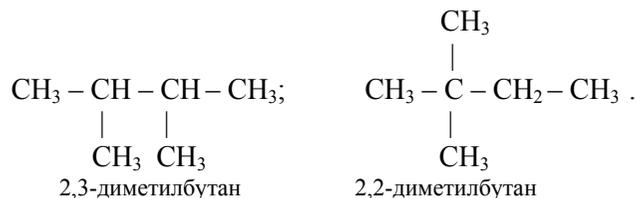
**Решение.** Алкан с неразветвленной цепью с шестью атомами углерода – гексан, структурная формула которого



имеет два изомера с пятью атомами углерода в главной углеродной цепи:



и два изомера с четырьмя атомами углерода в главной углеродной цепи:

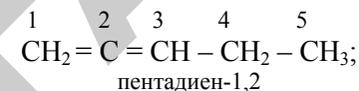


2. Углеводород с неразветвленной цепью, относящийся к гомологическому ряду диеновых, имеет формулу  $C_5H_8$ . Приведите структурную формулу этого углеводорода и его изомеров, отличающихся друг от друга взаимным расположением двойных связей. Назовите их по систематической номенклатуре IUPAC и определите вид.

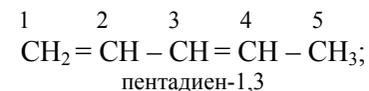
**Решение.** Углеводород, имеющий в составе пять атомов углерода и соответствующий структурной формуле  $C_nH_{2n-2}$ , относящийся

к классу алкадиенов, является пентадиеном. При изомерии положения кратных связей возможно образование следующих видов изомеров:

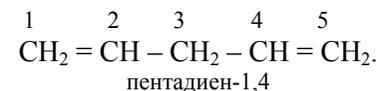
а) двойные связи расположены рядом друг с другом, такие алкадиены называются **кумулярованными**



б) двойные связи расположены через одну одинарную, такие алкадиены называются **сопряженными**

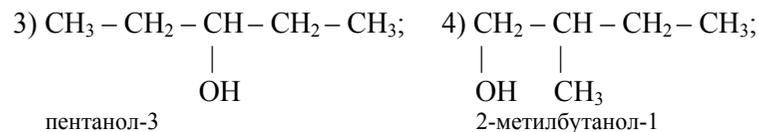
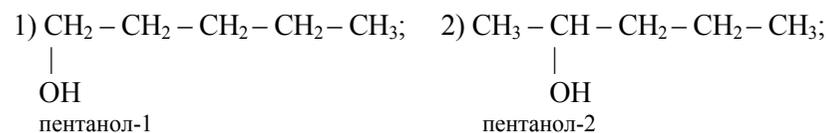


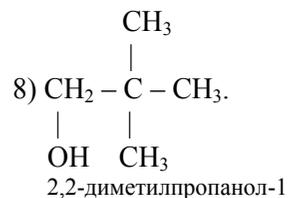
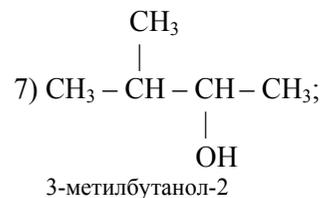
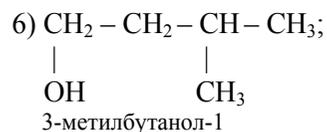
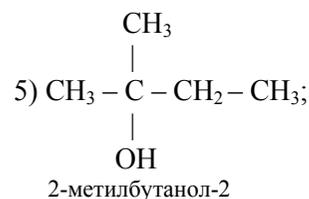
в) двойные связи расположены через две и более одинарных, такие алкадиены называют **изолированными**



3. Составьте структурные формулы изомерных спиртов состава  $C_5H_{11}OH$  и назовите их по систематической номенклатуре IUPAC.

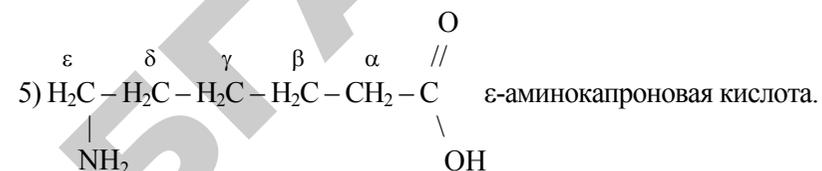
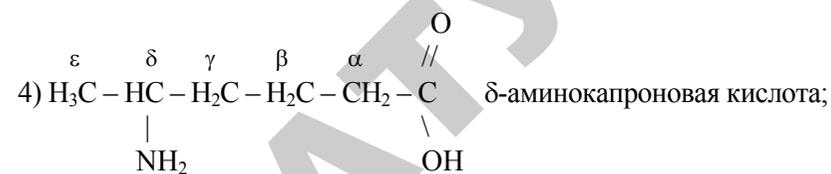
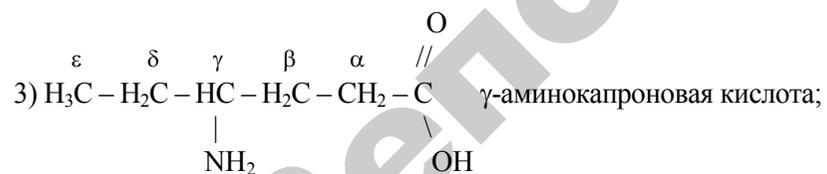
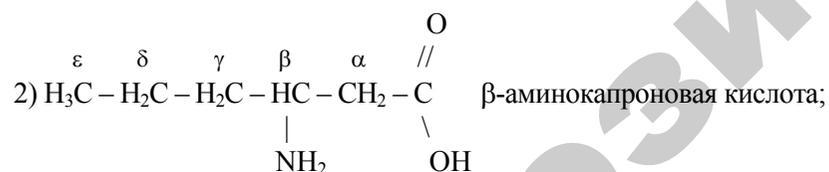
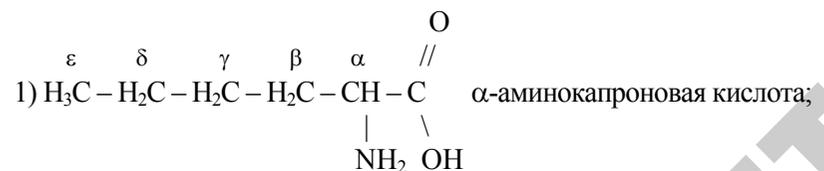
**Решение.** Приведенная формула соответствует классу одноатомных предельных спиртов  $C_nH_{2n+1}OH$ :





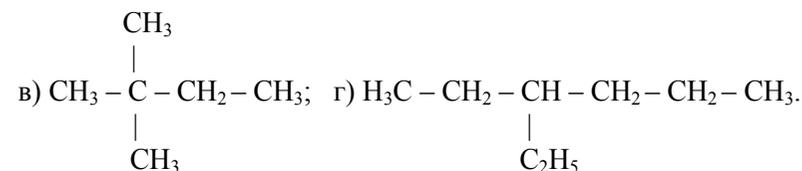
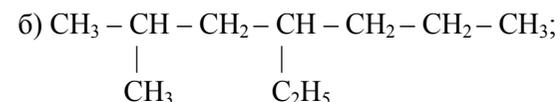
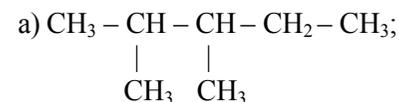
4. Составьте структурные формулы всех изомеров аминокaproновой кислоты состава  $\text{C}_6\text{H}_{13}\text{O}_2\text{N}$ , обусловленных различным положением аминогруппы при одинаковом неразветвленном углеродном скелете, и назовите их по рациональной номенклатуре IUPAC.

**Решение:**

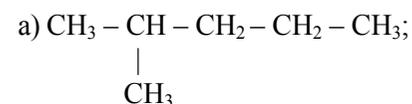


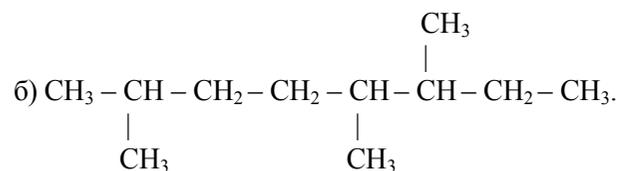
5. Составьте структурные формулы следующих соединений:  
а) 2,3-диметилпентан; б) 2-метил-4-этилгептан; в) 2,2-диметилбутан;  
г) 3-этилгексан.

**Решение:**



6. Назовите следующие соединения по систематической номенклатуре IUPAC:

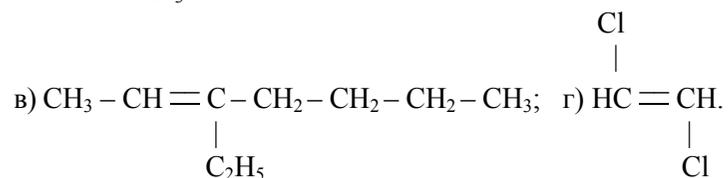
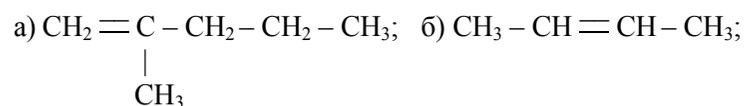




**Решение:** а) 2-метилпентан; б) 2,5,6-триметилпентан.

7. Составьте структурные формулы соединений: а) 2-метилпентен-1; б) бутен-2; в) 3-этилпентен-2; г) 1,2-дихлорэтен.

**Решение:**



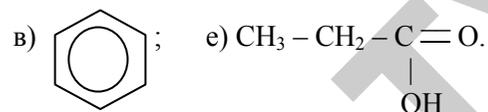
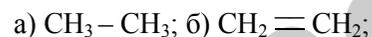
в)  $\text{CH}_3 - \text{CH} = \text{C} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$ ; г)  $\text{HC} = \text{CH}$ .



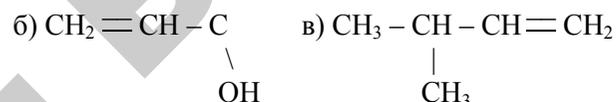
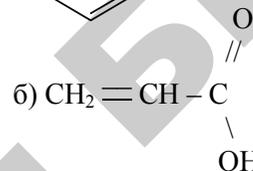
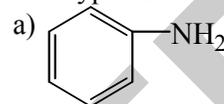
Назовите приведенные соединения по систематической номенклатуре IUPAC, составьте (где необходимо) их структурные формулы.

**Решение:** а) алканы: этан; б) алкены: этен; в) ароматические углеводороды: бензол; г) алкадиены: 1,3-бутадиен; д) альдегиды: этаналь; е) карбоновые кислоты: пропановая кислота; ж) спирты: метанол.

Структурные формулы:

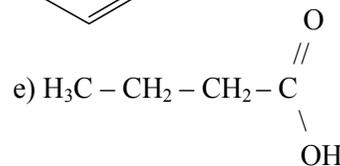
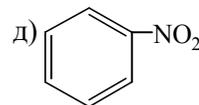
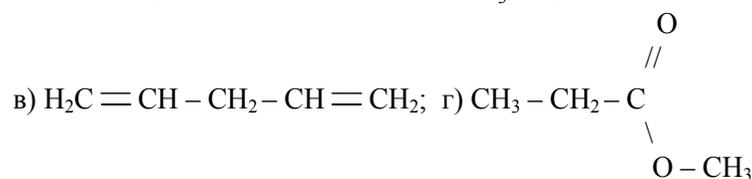
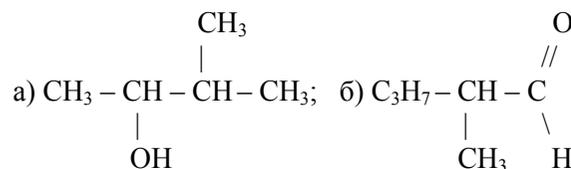


9. Назовите следующие соединения по систематической номенклатуре IUPAC:



**Решение:** а) аминбензол; б) пропеновая кислота; в) 3-метилбутен-1.

10. Классифицируйте следующие соединения и назовите их по систематической номенклатуре IUPAC:



**Решение:** а) спирт: 3-метилбутанол-2; б) альдегид: 2-метилпентаналь; в) диеновый углеводород: пентадиен-1,4; г) сложный эфир: метиловый эфир пропановой кислоты; д) ароматическое нитросоединение: нитробензол; е) карбоновая кислота: бутановая кислота.

### Задачи предлабораторного контроля

#### Задачи I уровня

Составьте структурные формулы соединений и укажите их возможные изомеры (назовите по систематической номенклатуре IUPAC):

- 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-метилбутadiен-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

- Какой объем кислорода при нормальных условиях расходуется при полном сгорании 2 дм<sup>3</sup> пропана?
- 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.

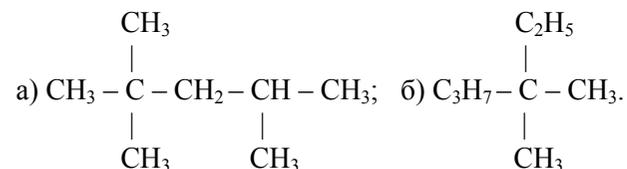
3. Какую массу бутadiена-1,3 можно получить из 2 дм<sup>3</sup> 96%-го этанола (плотность 0,8 г/см<sup>3</sup>)? Как называется такая реакция?

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 IUPAC.

5. Напишите уравнения реакций, отвечающие следующей схеме превращений: этилен → этанол → бутadiен-1,4 → синтетический каучук.

#### Контрольные задачи

- Составьте структурные формулы веществ по их названиям:  
а) 2,4-диметилгексан; б) 2,4,4-триметилгептан; в) 2,2,5-триметил-3,3-дихлоргексан.
- Назовите следующие соединения по систематической номенклатуре IUPAC:



3. 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?

4. 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 IUPAC.

5. Назовите следующие соединения по систематической номенклатуре IUPAC и определите их принадлежность к классам:

а)  $\text{CH}_2 = \text{CH} - \text{HC} = \text{CH} - \text{CH}_3$ ; б)  $\text{CH}_2 = \text{CH} - \text{CH} = \text{CH}_2$ ;

в)  $\text{CH}_3 - \text{C} = \text{CH} - \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$ .



6. Эффективным средством борьбы с вредителями сельскохозяйственных растений является гексахлорбутadiен-1,3 – продукт замещения хлором всех атомов водорода молекулы бутadiена-1,3. Составьте структурную формулу этого соединения.

7. 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  $\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2\text{OH}$ .

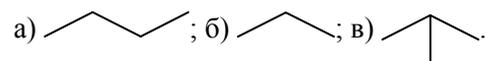
Назовите полученные соединения по систематической номенклатуре IUPAC.

8. Составьте структурные формулы следующих альдегидов: а) 2-метилпентаналь; б) 2,3-диметилбутаналь; в) гексаналь. Запишите уравнения их получения по реакции окисления соответствующих спиртов.

9. Классифицируйте и назовите по систематической номенклатуре IUPAC следующие соединения: а)  $\text{C}_6\text{H}_6$ ; б)  $\text{C}_6\text{H}_{12}$ ; в)  $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$ ; г)  $\text{CH}_2 = \text{CH} - \text{COOH}$ ; д)  $\text{CH}_3 - \text{N}_2\text{H}$ ; е)  $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ ; ж)  $\text{CH}_2 = \text{CH} - \text{C} = \text{O}$ .



10. Назовите приведенные соединения по систематической номенклатуре IUPAC и укажите изомеры среди них:



11. Составьте структурные формулы возможных изомеров, соответствующих формуле  $\text{C}_5\text{H}_{10}$ , и назовите их по систематической номенклатуре IUPAC.

12. Составьте структурные формулы возможных изомеров, соответствующих формуле  $\text{C}_6\text{H}_{12}$ , и назовите их по систематической номенклатуре IUPAC.

13. Составьте структурные формулы возможных изомеров гексанола  $\text{C}_6\text{H}_{13}\text{OH}$  и назовите их по систематической номенклатуре IUPAC.

14. В качестве окислителя топлива применяют производное метана – тетранитрометан. К какому классу соединений он относится? Составьте структурную формулу этого соединения.

15. Какие из веществ являются гомологами пентена: а)  $\text{C}_2\text{H}_4$ ; б)  $\text{C}_3\text{H}_8$ ; в)  $\text{C}_{10}\text{H}_{22}$ ; г)  $\text{C}_6\text{H}_6$ ? Составьте структурные формулы приведенных соединений и назовите их по систематической номенклатуре IUPAC.

Составьте структурные формулы соединений и укажите их возможные изомеры (назовите изомеры по систематической номенклатуре IUPAC):

16. а) циклобутан; б) диметилвый эфир.

17. а) 3-метилпентан; б) 2-аминоэтановая кислота.

18. а) 2-метилпентен-1; б) бутановая кислота.

19. а) пентадиен-2,4; б) метилвый эфир этановой кислоты.

20. а) пентен-1; б) 2-метилбутанол-1.

21. а) гексен-1; б) 2-метилпентанол-2.

22. а) 2-метилпентен-2; б) 2-метилбутановая кислота.

23. а) пентен-1; б) 3-метилбутаналь.

24. а) 2,4-диметилгексен-1; б) 2-метилпропаналь.

25. а) пентин-2; б) 3-аминобутановая кислота.

26. а) 2-метилгексен-2; б) пропиловый эфир пропановой кислоты.

27. а) 2,2,4-триметилгексан; б) бензойная кислота.

28. а) 1-хлорэтен; б) 2-метилпентанол-3.

29. а) пропин-1; б) 2-метилпропанол-2.

30. а) 2-метилпентадиен-1,3; б) 3-хлорбутаналь.

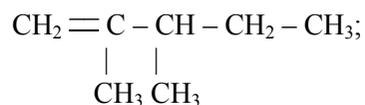
## 16. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

### Типовые задачи и их решения

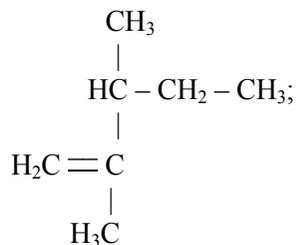
1. Составьте схему реакции полимеризации соединений: а) 2,3-диметилпентен-1; б) 2-метилгексадиен-1,3; в) 2-оксибутеновая кислота; г) этена. Укажите мономер, полимер и степень полимеризации.

**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, либо является циклическим соединением):

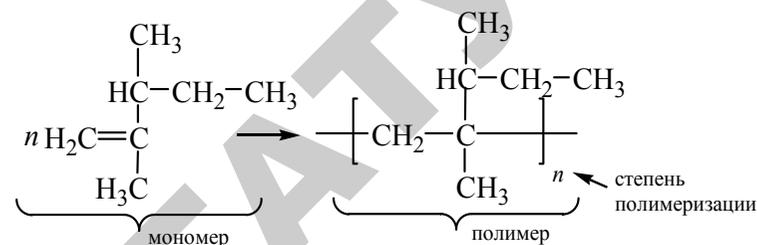


2) если требуется, переписываем исходный мономер таким образом, чтобы кратная связь была выделена, а углеродные остатки располагаем над и под плоскостью кратной связи:



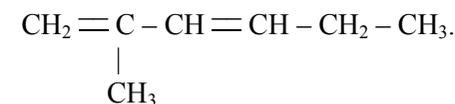
3) разрываем кратную связь и получаем полимер, в котором мономерное звено приводим в квадратных скобках без изменения состава;

4) составляем схему реакции полимеризации, указывая степень полимеризации  $n$  (количество повторяющихся фрагментов мономерных звеньев в полимере) – в виде индекса:

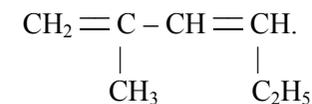


Отмечаем, что при полимеризации побочных продуктов не образуется.

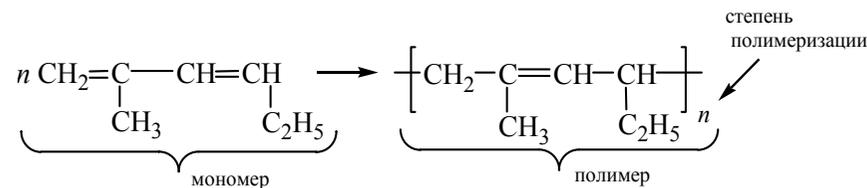
б) Последовательность выполнения действий аналогична пункту а). Составляем структурную формулу мономера:



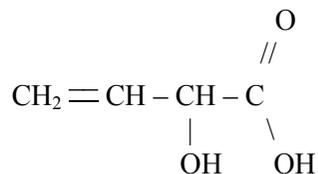
Выделяем сопряженные кратные связи:



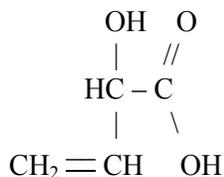
Составляем схему реакции полимеризации, указываем мономер, полимер и степень полимеризации, учитывая, что исходные двойные связи не сохраняются, образуется одна новая:



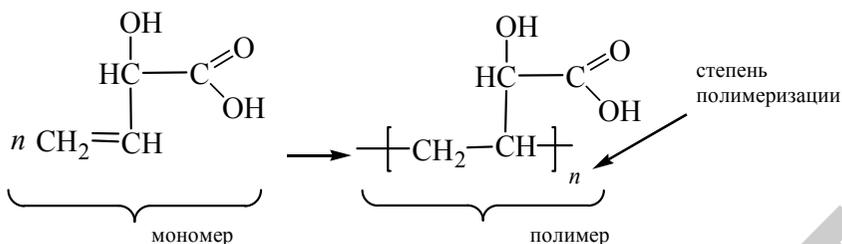
в) Последовательность выполнения действий аналогична пункту а). Составляем структурную формулу мономера:



Выделяем кратную связь между атомами углерода:



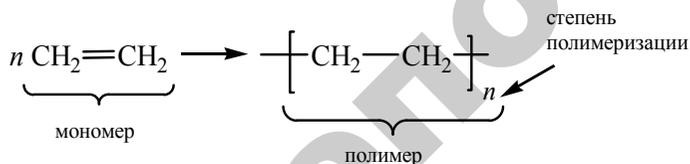
Составляем схему реакции полимеризации, указываем мономер, полимер и степень полимеризации:



г) Последовательность выполнения действий аналогична пункту а). Составляем структурную формулу мономера:



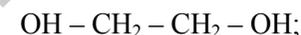
Составляем схему реакции полимеризации, указываем мономер, полимер и степень полимеризации:



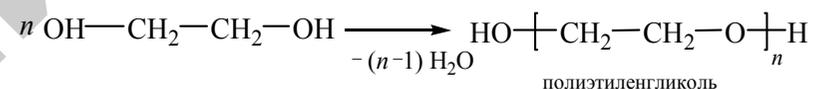
2. Составьте схему реакций поликонденсации соединений: а) этиленгликоля; б) 2-аминопропановой кислоты; в) этиленгликоля и щавелевой кислоты.

**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):

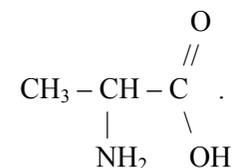


2) составляем схему реакции поликонденсации, указывая степень полимеризации  $n$  (количество повторяющихся фрагментов мономерных звеньев в полимере) – в виде индекса:

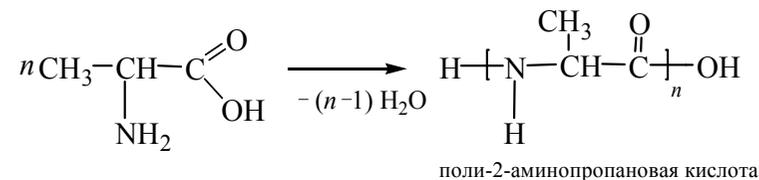


Отмечаем, что при поликонденсации образуются побочные продукты (молекулы  $\text{H}_2\text{O}$ ).

б) Последовательность выполнения действий аналогична пункту а). Составляем структурную формулу мономера:



Составляем схему реакции поликонденсации:

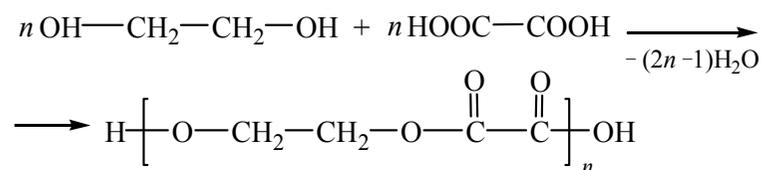


## Задачи II уровня

в) Последовательность выполнения действий аналогична пункту а). Составляем структурные формулы мономеров:



Составляем схему реакции поликонденсации:



### Задачи предлабораторного контроля

#### 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-1.
10. 3-метилпентен-1.
11. 2-метилпентадиен-1,3.
12. 3-этилгексен-1.
13. 1-фенилэтен.
14. 2-фенилпропен.
15. 2-хлорпентен-2.

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 7-аминогептановой кислоты  $\text{H}_2\text{N} - (\text{CH}_2)_6 - \text{COOH}$  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) полихлорпрена? Напишите уравнения соответствующих реакций и назовите исходные мономеры и полимеры по систематической номенклатуре IUPAC.

### 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 IUPAC.

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 стереоизмеры может образовывать полипропилен? Напишите структурные формулы, обозначьте виды.

12. Приведите примеры термопластичных и термореактивных 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.

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

1. Глинка, Н. Л. Общая химия : учебник для студентов нехимических специальностей высших учебных заведений / Н. Л. Глинка ; под ред. В. А. Попкова, А. В. Бабкова. – 18-е изд., перераб. и доп. – М. : Юрайт, 2011. – 899 с.

2. Коровин, Н. В. Общая химия : учебник для студентов вузов, обучающихся по техническим направлениям и специальностям / Н. В. Коровин. – 9-е изд., перераб. – М. : Высшая школа, 2007. – 560 с.

3. Корнилова, Н. Н. Сборник задач по дисциплине «Общая химия» : Метод. пособие для студентов 1-го курса с.-х. вузов / Н. Н. Корнилова, С. И. Полушкина. – Минск : БГАТУ, 2005. – 106 с.

4. Химия. Сборник задач : пособие / И. Б. Бутылина, С. И. Полушкина. – 2-е изд., исправл. и доп. – Минск : БГАТУ, 2011. – 172 с.

5. Борзова, Л. Д. Основы общей химии : учебное пособие для студентов вузов / Л. Д. Борзова, Н. Ю. Черникова, В. В. Якушев. – СПб. : Лань, 2014. – 470 с.

6. Шабаров, Ю. С. Органическая химия : учебник / Ю. С. Шабаров. – 5-е изд., стереотип. – СПб. : Лань, 2011. – 848 с.

Учебное издание

**Бутылина** Ирина Брониславовна,  
**Нехайчик** Андрей Александрович

**ХИМИЯ.**  
**СБОРНИК ЗАДАЧ**

**Пособие**

Ответственный за выпуск *С. М. Арабей*

Редактор *В. А. Гошко*

Корректор *В. А. Гошко*

Компьютерная верстка *Е. А. Хмельницкой, В. А. Гошко*

Подписано в печать 28.08.2017 г. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 11,16. Уч.-изд. л. 8,72. Тираж 80 экз. Заказ 440.

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, 99–2, 220023, Минск.