**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
**«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**КАФЕДРА ИНЖЕНЕРНОЙ ЭКОЛОГИИ И ХИМИИ**

# ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ «ОБЩАЯ ХИМИЯ»

**Студента _____ курса _____ группы _____ факультета**

_____

УДК 54 (07)

В лабораторном практикуме отражены вопросы общей химии. Даны алгоритмы, схемы, методики выполнения лабораторных работ по курсу общей химии на кафедре инженерной экологии и химии.

Предназначен для иностранных студентов технических специальностей.

Составители: Н.М. Голуб, к.х.н., доцент,
Э.А. Тур, к.т.н., доцент,
С.В. Басов, к.т.н., доцент, заведующий кафедрой ИЭиХ БрГТУ

Рецензент: Н.С. Ступень, к.т.н., доцент, заведующий кафедрой химии БрГУ имени А.С. Пушкина

Учреждение образования
© «Брестский государственный технический университет», 2014

## СОДЕРЖАНИЕ


**ВВЕДЕНИЕ** 4
**ЗАНЯТИЕ 1 «Основные законы и понятия химии»** 5
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1 «Основные классы неорганических соединений» 5
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2 «Определение эквивалентной массы, закон эквивалентов» 6
**ЗАНЯТИЕ 2 «Закономерности протекания химических реакций. Основы химической термодинамики и химическое равновесие»** 12
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3 «Тепловые эффекты химических реакций, возможность их самопроизвольного протекания» 12
**ЗАНЯТИЕ 3 «Закономерности протекания химических реакций. Химическая кинетика и химическое равновесие»** 18
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4 «Закономерности протекания химических реакций» 18
**ИТОГОВОЕ ЗАНЯТИЕ 1** 27
**ЗАНЯТИЕ 4 «Растворы. Произведение растворимости. Растворы электролитов»** 28
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5 «Приготовление раствора заданной концентрации» 28
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6 «Теория электролитической диссоциации. Ионные реакции» 30
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 7 «Гетерогенное равновесие в растворах электролитов. Произведение растворимости» 33
**ЗАНЯТИЕ №5 «Ионное произведение воды. Гидролиз солей»** 42
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 8 «Определение реакции среды при гидролизе солей. Факторы, определяющие направление протекания гидролиза солей» 42
**ИТОГОВОЕ ЗАНЯТИЕ 2** 49
**ЗАНЯТИЕ 6 «Окислительно-восстановительные реакции»** 50
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 9 «Изучение окислительно-восстановительных реакций, протекающих в водных растворах» 50
**ЗАНЯТИЕ 7 «Электрохимия»** 55
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 10 «Гальванические элементы» 55
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 11 «Электролиз» 61
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 12 «Коррозия металла» 66
**ИТОГОВОЕ ЗАНЯТИЕ 3** 74
**ЗАНЯТИЕ 8 «Физико-химические основы процессов коррозии минеральных строительных материалов»** 75
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 13 «Химические свойства кальция и кремния» 75
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 14 «Коррозия бетона и минеральных строительных материалов» 83
**ИТОГОВОЕ ЗАНЯТИЕ 4** 93
**Приложение А** 94
**Приложение Б** 100
**ЛИТЕРАТУРА** 107

# ВВЕДЕНИЕ

Уважаемые студенты!

Лабораторный практикум предназначен для выполнения лабораторных занятий по курсу общей химии и поможет вам в освоении этой важной для современного инженера, дисциплине.

Каждое занятие состоит из трех частей. Первая часть включает перечень изучаемых вопросов, вторая предназначена для выполнения лабораторной работы и подписывается преподавателем, третья содержит дополнительную теоретическую информацию для самостоятельной работы и подготовки к занятию. Для каждого занятия указаны ссылки на источники основной и дополнительной литературы (см. раздел «Литература»). После основных разделов курса проводится итоговое тематическое занятие, содержащее теоретические вопросы и задачи.

К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, изучившие правила техники безопасности и расписавшиеся в контрольных листках по технике безопасности.

Результаты, полученные студентом в процессе выполнения лабораторной работы, необходимо занести в рабочий журнал в виде уравнений реакций экспериментальных расчетов. В журнале записываются также наблюдения студента при выполнении опытов и выводы, обобщающие результаты проведенных экспериментов.

Лабораторные работы, пропущенные студентом, независимо от причины должны быть отработаны им в присутствии преподавателя в согласованный срок.

Выполненная лабораторная работа подписывается преподавателем в день ее выполнения.

Авторы с благодарностью примут замечания и предложения по содержанию лабораторного практикума, которые будут учтены при подготовке последующих изданий.

**ЗАНЯТИЕ №1**

| **Тема: Основные законы и понятия химии.** | **Дата** _____ |
|---|---|
| **ПЕРЕЧЕНЬ ИЗУЧАЕМЫХ ВОПРОСОВ**<br>1. Изучить основные классы неорганических соединений, химические свойства и способы их определения.<br>2. Абсолютная и относительная атомные массы. Абсолютная и относительная молекулярные массы. Моль. Молярная масса. Молярный объем газообразных веществ. Качественный и количественный состав вещества.<br>3. Закон сохранения массы вещества. Закон постоянства состава. Закон простых объемных отношений. Закон Авогадро и следствия из него. Относительная плотность газов. Определение молярной массы газообразных веществ по относительной плотности.<br>4. Химический эквивалент простых и сложных веществ. Молярная масса эквивалента. Молярный объем эквивалента. Закон эквивалентов. | **ИСТОЧНИК**<br>1. Материалы лекций<br>2. [1-3] – учебник<br>3. [4-11] |

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1 «Основные классы неорганических соединений»**

| **Задание** | **Методика выполнения и результаты** |
|---|---|
| **1. Получить основание и провести качественную реакцию.**<br>В химический стакан на 250 $см^3$ налить 100 $см^3$ дистиллированной воды и внести 2 шпателя оксида кальция. Полученную смесь перемешать и через 10 минут разделить декантацией и отфильтровать. В пробирку налить 1 $см^3$ фильтрата и добавить 1-2 капли фенолфталеина. Отметить цвет полученного раствора и характер среды. | **1.** Закончить уравнение реакции и записать наблюдения.<br>$CaO + H_2O \rightarrow$ ….. |
| **2. Получить кислотный оксид и кислоту, провести качественную реакцию.**<br>В пробирку налить 4-5 $см^3$ дистиллированной воды и барботировать газ, полученный в аппарате Киппа. Отлить в пробирку 1 $см^3$ полученного раствора и добавить 1-2 капли метилового красного. Отметить цвет полученного раствора и характер среды. | **2.** Закончить уравнение реакции и записать наблюдения.<br>а) $CaCO_3 + HCl \rightarrow$ …<br>б) $CO_2 + H_2O \rightarrow$ … |
| **3. Получить среднюю и кислую соль, указать различие между ними.**<br>а) К полученному в опыте 1 гидрооксиду кальция добавить полученную в опыте 2 угольную кислоту в соотношении 1 : 1. Отметить изменения раствора.<br>б) Через полученный раствор пропустить углекислый газ из аппарата Киппа и отметить изменения раствора. | **3.** Закончить уравнение реакции и записать наблюдения.<br>а) $H_2CO_3 + Ca(OH)_2 \rightarrow$ …<br>б) $CaCO_3 + CO_2 + H_2O \rightarrow$ … |

| | |
|---|---|
| **4. Получить основание и основную соль, указать различие между ними.**<br>В две пробирки налить по 2 $см^3$ хлорида железа (III) и добавить натрия гидроксид:<br>а) в первую пробирку 2 $см^3$;<br>б) во вторую – 6 $см^3$.<br>Отметить разницу во внешнем виде полученных растворов. | **4.** Закончить уравнение реакции и записать наблюдения.<br><br>а) $FeCl_3 + NaOH \rightarrow$ …<br>б) $FeCl_3 + 3NaOH \rightarrow$ … |

Подпись преподавателя _____

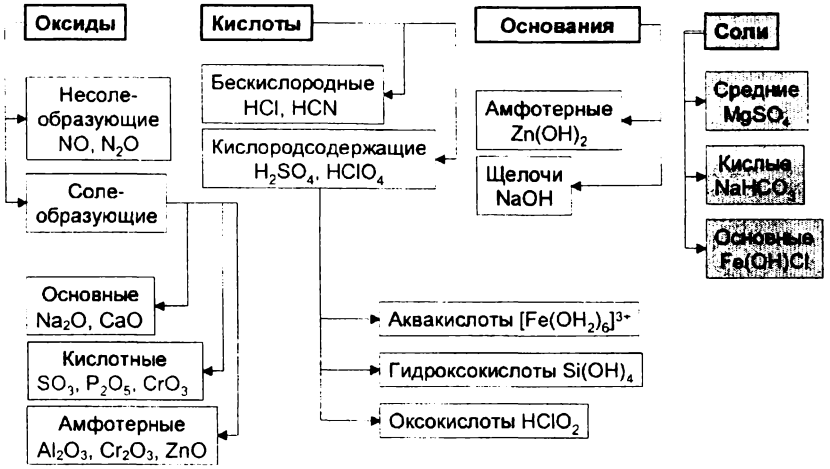
**Дата** _____

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2 «Определение эквивалентной массы, закон эквивалентов»

| Задание | Методика выполнения и результаты |
|---|---|
| **1. Экспериментальным путем определить эквивалентную массу цинка.**<br>а) В круглодонную колбу поместить 10 $см^3$ соляной кислоты и добавить 1-2 капли сульфата меди. Закрепить колбу горизонтально в штативе.<br>На горло колбы поместить полученный кусочек цинка. Проверить герметичность установки. Стряхнуть цинк в колбу с соляной кислотой. Следить за падением столбика воды в бюретке. | а) Провести реакцию между цинком и соляной кислотой, записать уравнение реакции. |
| б) Замерить объем выделившегося водорода, температуру и давление в помещении. | б) Замерить объем выделившегося водорода, температуру и давление в помещении. |
| в) Рассчитать давление и массу выделившегося водорода, используя уравнение Менделеева-Клапейрона.<br>$P_0$ – атмосферное давление (мм рт. ст.)<br>$P(H_2O)$ – давление насыщенного водяного пара, (мм рт. ст., см. табл. 1).<br>Все полученные данные необходимо перевести в единую систему:<br>R – универсальная газовая постоянная (8,31 Дж/моль·К, 62360 мл·мм·рт.ст./моль·К),<br>T – температура по шкале Кельвина (К, T = 273 + t°C),<br>$M(H_2)$ – мольная масса водорода (г/моль)<br>$m(H_2)$ – масса выделившегося водорода (г),<br>$V(H_2)$ – объем выделившегося водорода ($м^3$, мл),<br>$P(H_2)$ – давление водорода (Па, мм рт.ст., 1 мм рт.ст. = 133,322 Па) | в) Рассчитать давление и массу выделившегося водорода ($P(H_2O)$ в таблице 1, приложения Б).<br>$P(H_2) = P_0 - P(H_2O)$<br>$P(H_2) \cdot V(H_2) = \frac{m(H_2) \cdot R \cdot T}{M(H_2)}$, |

| | |
|---|---|
| г) Рассчитать экспериментальную эквивалентную массу цинка, используя закон эквивалентов.<br>m(Zn) – масса выданного кусочка цинка,<br>$m(H_2)$ – масса выделившегося водорода (г),<br>$M_Э(H_2)$ – эквивалентная масса водорода (г/моль),<br>$M_Э(Zn)$ – эквивалентная масса цинка (г/моль). | г) Рассчитать экспериментальную эквивалентную массу цинка, используя закон эквивалентов:<br>$\frac{m(Zn)}{m(H_2)} = \frac{M_{э}(Zn)_{эксперим.}}{M_Э(H_2)}$, |
| д) Рассчитать теоретическую массу цинка и определить относительную ошибку эксперимента. | д) Рассчитать теоретическую массу цинка и определить относительную ошибку эксперимента<br>$M_Э(Zn)_{теоретич.} = \frac{A(Zn)}{B(Zn)}$,<br>$\varepsilon = \frac{\left\| M_Э(Zn)_{теорет.} - M_Э(Zn)_{эксперим.} \right\|}{M_Э(Zn)_{теорет.}}$, |
| | Подпись преподавателя _____ |

### Классы неорганических соединений

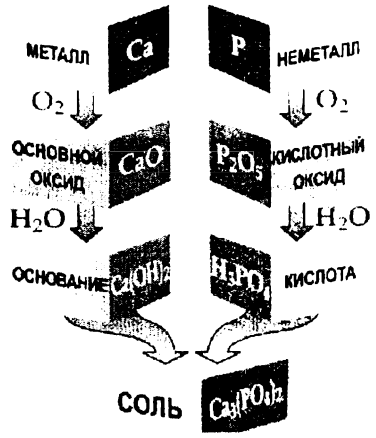



### Генетическая связь классов неорганических соединений

$2Ca + O_2 = 2CaO$
$CaO + H_2O = Ca(OH)_2$

$4P + 5O_2 = 2P_2O_5$
$P_2O_5 + 3H_2O = 2H_3PO_4$

$3Ca(OH)_2 + 2H_3PO_4 =$
$= Ca_3(PO_4)_2 + 6H_2O$




## Классификация кислот

По содержанию кислорода в кислотном остатке:

- Кислородсодержащие (оксокислоты) $H_nЭ_mO_p$
- Бескислородные $H_nX$

X - галоген, халькоген или неорганический радикал типа CN, NCS

| | |
|---|---|
| HF | плавиковая |
| HCl | соляная |
| $H_2S$ | сероводородная |
| HCN | синильная |

По основности: числу атомов водорода, способных отщепляться при диссоциации или замещаться на катионы металла при взаимодействии с основанием или металлом.

- Одноосновные $HNO_3$, HCl
- Многоосновные $H_2SO_4$ (двух-), $H_3PO_4$ (трех-)

## Классификация гидроксидов

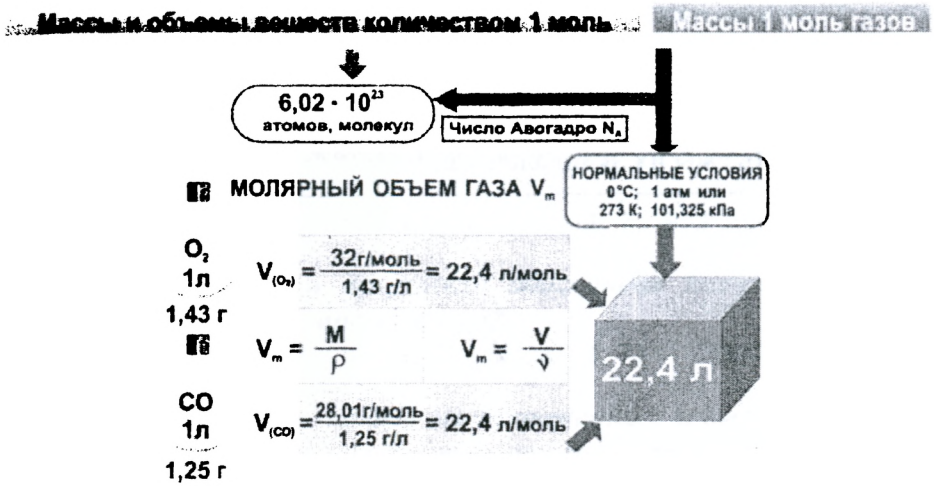
1. По кислотности основания.

   Число групп $OH^-$, способных обмениваться на кислотный остаток:

   | | |
   |---|---|
   | NaOH | -однокислотное |
   | $Ca(OH)_2$ | -двухкислотное |

2. По растворимости.
3. По силе оснований.
4. По термической устойчивости.
5. По отношению к кислотам и щелочам (основные и амфотерные).

   | | |
   |---|---|
   | MOH (M=Li-Fr), $M(OH)_2$ (M=Mg-Ra) | -основные |
   | $Be(OH)_2$, $Zn(OH)_2$, $Al(OH)_3$, $Pb(OH)_2$, $Be(OH)_2$,... | -амфотерные |




**Моль это:**

- **6**,02•$10^{23}$ частиц;
- масса вещества в граммах, численно равная молярной массе вещества;
- 22,4 л ($дм^3$) вещества в газообразном состоянии при нормальных условиях;

***1 моль = 6,02•$10^{23}$ частиц = М = 22,4 л (газ).***

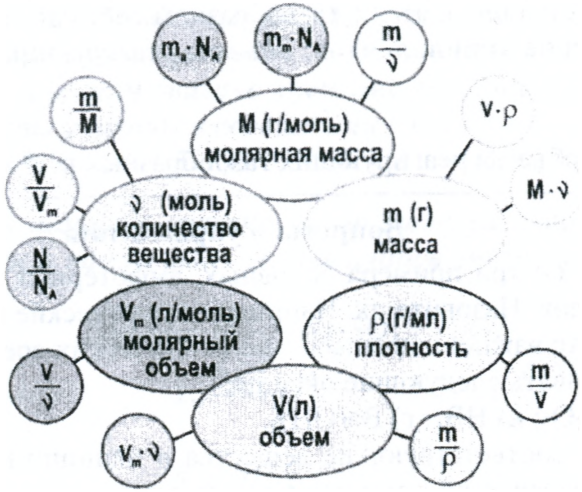
**Химическим эквивалентом элемента** ***называется реальная или условная частица, которая может присоединять, замещать, высвобождать или каким-либо другим образом быть равноценна одному иону водорода $H^+$ в ионообменных реакциях или одному электрону в окислительно-восстановительных реакциях.***

Количество эквивалентов вещества выражают в молях.

**Закон эквивалентов (И. Рихтер.)**: *массы реагирующих друг с другом веществ пропорциональны молярным массам их эквивалентов:*

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{M_{экв1}}{M_{экв2}},$$

где $m_1$ и $m_2$ – массы взаимодействующих веществ;
$M_{экв.1}$ и $M_{экв.2}$ – молярные массы эквивалентов.




**n** – количество вещества, число молей вещества (моль);
**m** – масса (г);
**V** – объем газа (л, $дм^3$);
**N** – количество частиц (атомов, молекул, ионов и пр.).

*Масса 1 моль эквивалентов вещества называется* **молярной массой его эквивалента** ($М_{экв}$). ***Размерность молярной массы эквивалента – [г/моль].***

**Эквивалентом сложного** *вещества называется такое его количество, которое взаимодействует без остатка с одним эквивалентом водорода или с одним эквивалентом любого другого вещества.*

**Эквиваленты и молярные массы эквивалентов**

| **Элемент или сложное вещество** | **Эквивалент,** Э, [ – ] | **Молярная масса** ($М_{экв.}$) **эквивалента,** [г/моль] |
|---|---|---|
| ***Элемент*** | $Э_{эл} = 1 \cdot f = 1/B$ | $М_{экв} = М \cdot f = М/B$ |
| ***Кислота*** | $Э_{кислоты} = 1 f =$ =1/основность | $М_{экв} = М \cdot f =$ М/основность |
| ***Основание*** | $Э_{осн} = 1 \cdot f =$ 1/кислотность | $М_{экв} = М \cdot f =$ М/кислотность |
| ***Соль*** | $Э_{соли} = 1 \cdot f = 1 / n \cdot B$ | $М_{экв} = М \cdot f = М / n \cdot B$ |

Если вещества находятся в газообразном состоянии, удобно пользоваться понятием «молярный объем эквивалента» и следующей формулировкой **закона эквивалентов**: ***объемы реагирующих друг с другом газообразных веществ пропорциональны молярным объемам их эквивалентов.***

$$V_1/V_2 = V_{экв1}/V_{экв2},$$

где $V_1$ и $V_2$ – объемы реагирующих газообразных веществ, $V_{экв1}$ и $V_{экв2}$ – молярные объемы их эквивалентов.

### Вопросы и упражнения

1. Приведите по три примера основных, амфотерных, кислотных и безразличных оксидов. Назовите их. Напишите графические формулы их молекул.
2. Перечислите важнейшие классы неорганических соединений, с которыми могут реагировать следующие оксиды:

**а)** $K_2O$; **б)** $Cr_2O_3$; **в)** HBr; **г)** $Ba(OH)_2$.

**4.** Подберите соответствующие вещества и напишите уравнения нижеприведенных превращений и назовите соединения:

**а)** оксид → основание → основная соль → средняя соль;

**б)** оксид → кислота → кислая соль → средняя соль;

**в)** гидроксид → оксид → соль → соль.

**5.** Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить следующие превращения:

**а)** $NaOH \rightarrow Na_2CO_3 \rightarrow NaHCO_3 \rightarrow Na_2CO_3 \rightarrow CO_2$;

**б)** $Zn \rightarrow ZnO \rightarrow Zn(NO_3)_2 \rightarrow Zn(OH)_2 \rightarrow Na_2ZnO$.

**6.** Какое количество вещества в молях содержится в оксиде железа (III) массой 320 г?

**7.** Рассчитайте значение массовой доли марганца в оксиде марганца (IV).

**8.** Относительная плотность некоторого газа по водороду равна 35,5. Определите:

**а)** молярную массу газа; **б)** относительную плотность этого газа по воздуху; **в)** массу 1 л этого газа.

**9.** Найти значение эквивалента и молярной массы эквивалента следующих веществ: $CuCl_2$, $H_3PO_4$, $Ca(OH)_2$.

**10.** Чему равны значения эквивалента, молярной массы эквивалента и молярного объема эквивалента для следующих элементов:

**а)** кислород; **б)** водород; **в)** хлор?

**11.** При взаимодействии щелочного металла массой 66,5 г с водой выделился водород объемом 5,6 л водорода (н.у.). Какой это металл?

## ТЕСТ «Первоначальные понятия химии»

***1. Сколько веществ, из числа приведенных ниже, являются простыми? Вещества: хлорид натрия, вода, железо, мел, сера, сахар, графит? В ответе укажите номер, под которым расположен правильный ответ.***

**1.** 1 **2.** 5 **3.** 4 **4.** 2 **5.** 3

***2. Под каким номером правильно обозначено значение относительной молекулярной массы хлора?***

**1.** 17 **2.** 35,5 **3.** 71 г/моль **4.** 71 г **5.** 71

***3. В массе один грамм какого из приведенных ниже веществ содержится наибольшее количество этого вещества (в молях)? В ответе укажите номер, под которым расположен правильный ответ.***

**1.** $H_2S$ **2.** $H_2Te$ **3.** HF **4.** $CO_2$ **5.** $NO_2$

***4. Под каким номером приведена формула оксида, при взаимодействии которого с водой образует щелочь?***

**1.** ZnO **2.** $K_2O$ **3.** CuO **4.** $Fe_2O_3$ **5.** FeO

***5. Под каким номером приведена формула соединения, являющегося основанием?***

**1.** $Zn(HCO_3)_2$ **2.** ZnOHCl **3.** $Zn(OH)_2$ **4.** $[Zn(NH_3)_4]SO_4$ **5.** $ZnCl_2$

***6. Под каким номером приведена схема реакции, в результате которой может быть получена соль?***

**1.** $SO_3 + H_2O \rightarrow$ **2.** $O_2 + Cl_2 \rightarrow$ **3.** $CaO + H_2O \rightarrow$
**4.** $ZnO + Na_2O \xrightarrow{t} $ **5.** $SO_2 + H_2O \rightarrow$

## ТЕСТ «Химический эквивалент»

***1. Под каким номером указано значение молярной массы эквивалента элемента углерода в соединении $CO_2$?***

**1.** 6 **2.** 3 **3.** 8,4 **4.** 4,8 **5.** 12

***2. Под каким номером указано число молекул оксида серы (IV), содержащееся в одном моль эквивалентов этого вещества в реакции:***

$$2NaOH + SO_2 = Na_2SO_3 + H_2O?$$

**1.** $\frac{6{,}02\cdot10^{23}}{4}$ **2.** $\frac{6{,}02\cdot10^{23}}{3}$ **3.** $\frac{6{,}02\cdot10^{23}}{2}$
**4.** $\frac{6{,}02\cdot10^{23}}{5}$ **5.** $6{,}02\cdot10^{23}$

***3. Под каким номером указано значение молярной массы эквивалента ортофосфорной кислоты в реакции:***

$$H_3PO_4 + 2NaOH = Na_2HPO_4 + 2H_2O?$$

**1.** $\frac{M}{2}$ **2.** M **3.** $\frac{M}{3}$ **4.** $\frac{M}{4}$ **5.** $\frac{M}{5}$

***4. Под каким номером указано значение эквивалента сульфата натрия в реакции:***

$$Na_2SO_4 + BaCl_2 = BaSO_4 + 2NaCl?$$

**1.** $\frac{1}{5}$ **2.** $\frac{1}{4}$ **3.** 1 **4.** $\frac{1}{2}$ **5.** $\frac{1}{3}$

***5. Под каким номером указано число молей эквивалентов серной кислоты в реакции полной нейтрализации, содержащееся в этом веществе массой 4,9 г?***

**1.** 0,2 **2.** 1,5 **3.** 2 **4.** 1 **5.** 0,1

**ЗАНЯТИЕ №2**

| **Тема: Закономерности протекания химических реакций. Основы химической термодинамики и химическое равновесие** | **Дата** _____ |
|---|---|
| **ПЕРЕЧЕНЬ ИЗУЧАЕМЫХ ВОПРОСОВ**<br>1. Энергия. Экзотермические и эндотермические реакции. Виды энергии: тепловая, световая, химическая, ядерная и др. энергии. Типы энергии: кинетическая и потенциальная энергии. Первый закон термодинамики.<br>2. Энтальпия. Стандартная энтальпия образования. Стандартная энтальпия реакции. Закон Гесса.<br>3. Энтропия. Свободная энергия Гиббса. Условие самопроизвольного протекания реакции. | **ИСТОЧНИК**<br>1. Материалы лекций<br>2. [1-3] – учебник<br>3. [4-11] |

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3 «Тепловые эффекты химических реакций, возможность их самопроизвольного протекания»**

| **Задание** | **Методика выполнения и результаты** |
|---|---|
| **Изучить тепловые эффекты химических реакций и определить возможность их самопроизвольного протекания.**<br>**1.** В сухую пробирку поместите 2-3 микрошпателя бихромата аммония, закрепите пробирку в держателе и осторожно нагрейте в пламени горелки.<br>Зафиксируйте внешние эффекты.<br>а) Выпишите, используя справочные данные (таблица 2) значения стандартных величин энтальпии, энтропии и энергии Гиббса.<br>Рассчитайте:<br>б) энтальпию химической реакции,<br>в) изменение энтропии химической реакции,<br>г) возможность самопроизвольного протекания реакции при стандартных условиях. | **1.** Термическое разложение бихромата аммония<br>а) Термохимическое уравнение реакции:<br>$(NH_4)_2Cr_2O_{7\ (тв.)} \rightarrow Cr_2O_{3\ (тв.)} + N_{2\ (газ)} + 4H_2O_{\ (газ)}$<br>б) Рассчитайте изменение энтальпии химической реакции (таблица 2, приложение Б):<br>$\Delta H^{\circ}_{\text{хической реакции}} = \sum \left(n \cdot \Delta_f H^{\circ}_{298}\right)_{\text{подуктов реакции}} - \sum \left(n \cdot \Delta_f H^{\circ}_{298}\right)_{\textit{исходных веществ}}$<br>в) Рассчитайте изменение энтропии химической реакции:<br>$\Delta S^{0}_{\text{хической реакции}} = \sum (n \cdot S^{0}_{298})_{\text{продуктов реакции}} - \sum (n \cdot S^{0}_{298})_{\textit{исходныхв веществ}}$<br>г) Рассчитайте возможность самопроизвольного протекания реакции при стандартных условиях:<br>$\Delta G^{\circ}_{\text{хической реакции}} = \sum \left(n \cdot \Delta_f G^{\circ}_{298}\right)_{\text{продуктов реакции}} - \sum \left(n \cdot \Delta_f G^{\circ}_{298}\right)_{\textit{исходных веществ}}$ |

| | |
|---|---|
| д) определите, при какой температуре начнется химическая реакция (в момент начала реакции $\Delta G = 0$), преобразовав уравнение Гиббса. | д) Определите, при какой температуре начнется химическая реакция:<br>$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ |
| **2.** В сухую пробирку поместите 3-4 микрошпателя нитрата калия, закрепите пробирку в держателе и осторожно нагрейте в пламени горелки. Когда начнется плавление соли, внесите в пробирку тлеющую лучинку. | **2.** Термическое разложение бихромата аммония.<br>а) Термохимическое уравнение реакции:<br>$2KNO_{3\ (тв.)} \rightarrow 2KNO_{2\ (тв.)} + O_{2\ (газ)}$ |
| Зафиксируйте внешние эффекты.<br>а) Выпишите, используя справочные данные (таблица 2), значения стандартных величин энтальпии, энтропии и энергии Гиббса. | б) Рассчитайте изменение энтальпии химической реакции:<br>$\Delta H^{\circ}_{\text{хической реакции}} = \sum \left(n \cdot \Delta_f H^{\circ}_{298}\right)_{\text{подуктов реакции}} - \sum \left(n \cdot \Delta_f H^{\circ}_{298}\right)_{\text{исходных вещества}}$ |
| Рассчитайте:<br>б) энтальпии химической реакции;<br>в) изменение энтропии химической реакции; | в) Рассчитайте изменение энтропии химической реакции:<br>$\Delta S^{0}_{\text{хической реакции}} = \sum (n \cdot S^{0}_{298})_{\text{продуктов реакции}} - \sum (n \cdot S^{0}_{298})_{\text{исходныхв вещества}}$ |
| г) возможность самопроизвольного протекания реакции при стандартных условиях; | г) Рассчитайте возможность самопроизвольного протекания реакции при стандартных условиях:<br>$\Delta G^{\circ}_{\text{хической реакции}} = \sum \left(n \cdot \Delta_f G^{\circ}_{298}\right)_{\text{продуктов реакции}} - \sum \left(n \cdot \Delta_f G^{\circ}_{298}\right)_{\text{исходных вещества}}$ |
| д) определите, при какой температуре начнется химическая реакция (в момент начала реакции $\Delta G = 0$), преобразовав уравнение Гиббса. | д) Определите при какой температуре начнется химическая реакция:<br>$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ |

Подпись преподавателя _____

## ХИМИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА

1) Изучает возможность протекания химического процесса

2) Определяет условия протекания химического процесса

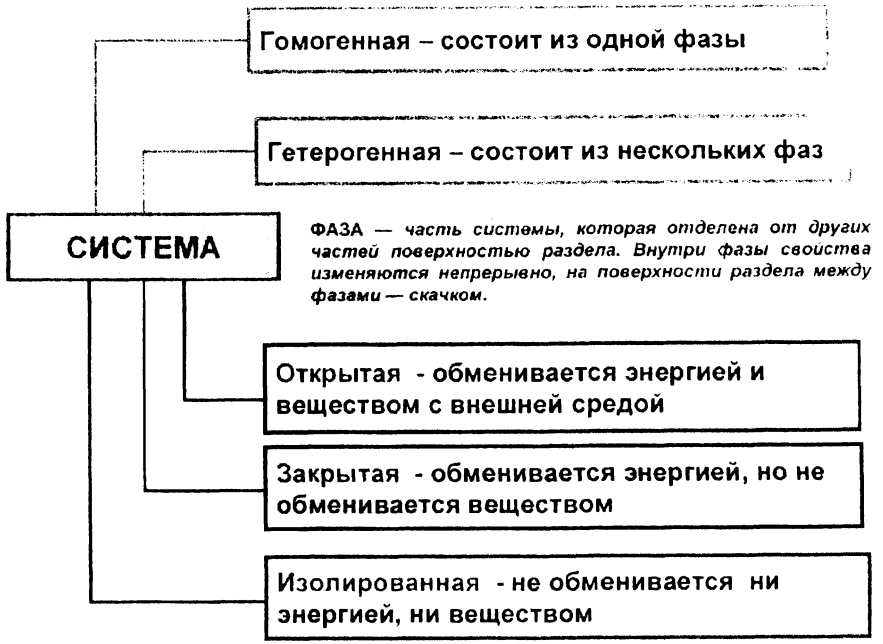
### Основные понятия

**СИСТЕМА** – часть Вселенной, выделенная с помощью реальных или мысленных границ

ВНЕШНЯЯ СРЕДА — **все, что находится вне системы.**

**СИСТЕМА + ВНЕШНЯЯ СРЕДА = ВСЕЛЕННАЯ**

Компоненты — ***вещества, образующие систему, количества которых можно менять независимо друг от друга.***




### ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СИСТЕМЫ

#### Энтальпия

$U$ – внутренняя энергия системы

$\Delta U$ – *изменение внутренней энергии системы в процессе*

$Q$ – *тепловой эффект процесса*

$A$ – *механическая работа расширения/сжатия* ($A = p \cdot \Delta V$)

$$Q + A + \Delta U = 0$$

*const V* $\quad A = 0 \quad Q_v = -\Delta U$

*const p* $\quad Q_p = -\Delta U - p \cdot \Delta V = -\Delta (U + p \cdot V)$ — энтальпия $H$

### ЭНТРОПИЯ

$$S = k \ln W \quad (\text{Дж/К})$$

$k$ — *константа Больцмана* $1{,}38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К

***Энтропия — экстенсивная величина*** *(m, V)*

*В самопроизвольных процессах энтропия возрастает*

### САМОПРОИЗВОЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ

***Процессы от состояния с низкой термодинамической вероятностью к состоянию с высокой термодинамической вероятностью являются самопроизвольными.***

### ЭНЕРГИЯ ГИББСА

*В самопроизвольном процессе*

$$\Delta_r S - \frac{\Delta_r H}{T} > 0 \quad \text{или} \quad \Delta_r H - T\Delta_r S < 0$$

$G$ – энергия Гиббса

$$\Delta G = \Delta_r H - T\Delta_r S < 0$$

$\Delta_r G < 0$ — *можно получить полезную работу*

$H_2(г) + ½\ O_2(г) = H_2O(ж) \qquad \Delta_r G° = -237{,}2$ кДж

$\Delta_r G > 0$ — *необходимо затратить работу*

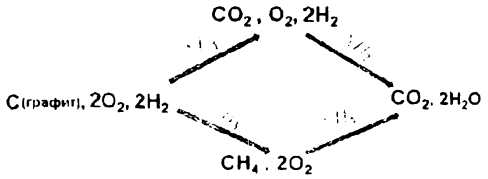
$6CO_2(г) + 6H_2O(ж) \xrightarrow{h\nu} C_6H_{12}O_6 + 6O_2(г) \quad \Delta_r G° = 2870{,}4$ кДж

## ЗАКОН ГЕССА

**1.** ***Энтальпия химического процесса не зависит от его пути, а определяется только начальным и конечным состоянием системы, т.е. состоянием исходных веществ и продуктов реакции***

**Исходные в-ва** ➡ **Продукты р-ции**

$C$(графит), $2O_2$(г.), $2H_2$(г.) $\quad CO_2$(г.), $2H_2O$(г.)




$\Delta H_1 + \Delta H_2 = \Delta H_3 + \Delta H_4$

**2.** ***Энтальпия химического процесса определяется энтальпиями тех реакций, комбинируя которые, можно получить этот процесс***

(*d*) $CH_4$(г.) + $2O_2$(г.) = $CO_2$(г.) + $2H_2O$(г.) $\quad \Delta H_d$ ?

(*a*) $C$(графит) + $O_2$(г.) = $CO_2$(г.)
(*b*) $H_2$(г.) + $1/2O_2$(г.) = $H_2O$(г.) $\quad \Delta H_b$
(*c*) $C$(графит) + $2H_2$(г.) = $CH_4$(г.) $\quad \Delta H_c$

} $\Delta H_a$ определены

$(d) = (a) + 2\cdot(b) - (c)$

$\Delta H_d = \Delta H_a + 2\cdot\Delta H_b - \Delta H_c$

**3.** ***Энтальпия реакции определяется как разность энтальпий образования продуктов реакции и энтальпий образования исходных веществ (с учетом стехиометрических коэффициентов)***

$$\Delta_r H = \Sigma j_{прод.}\Delta_f H_{прод.} - \Sigma i_{исх.в\text{-}в.}\Delta_f H_{исх.в\text{-}в.}$$

## *Энтропия химической реакции*

$$\Delta_r S = \Sigma j_{прод.} S_{прод.} - \Sigma i_{исх.\ в\text{-}в} S_{исх.\ в\text{-}в}$$

***Реакция образования*** $H_2O_г$

$H_2$(г.) + $\frac{1}{2}O_2$(г.) = $H_2O$(г.)

$S^\circ$, Дж/К·моль 130,6 205 188,7 $> 0$

$\Delta_r S^\circ = 188{,}7 - 130{,}6 - \frac{1}{2}\cdot 205 = -44{,}4$ Дж/К·моль $< 0$

***Растворение*** NaCl:

NaCl(к.) = $Na^+$(р.) + $Cl^-$(р.)

$S^\circ$, Дж/К·моль 72,1 58,9 56,5

$\Delta_{дис} S^\circ = S^\circ(Cl^-(р.)) + S^\circ(Na^+(р.)) - S^\circ(NaCl(р.)) =$

$= 56.5 + 58.9 - 72.1 = 43.3$ Дж/К·моль

## ЭНЕРГИЯ ГИББСА РЕАКЦИИ

$\Delta_r G = \Delta_r H - T\cdot\Delta_r S$

**Энтальпийный фактор** — *благоприятный* $\Delta_r H < 0$; ***неблагоприятный*** $\Delta_r H > 0$

**Энтропийный фактор** — *благоприятный* $\Delta_r S > 0$; ***неблагоприятный*** $\Delta_r S < 0$

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|
| $\Delta_r H < 0$ | $\Delta_r H > 0$ | $\Delta_r H < 0$ | $\Delta_r H > 0$ |
| $\Delta_r S > 0$ | $\Delta_r S < 0$ | $\Delta_r S < 0$ | $\Delta_r S > 0$ |

## Стандартное состояние вещества

Стандартное состояние вещества – ***состояние данного вещества в чистом виде при заданной температуре и давлении 1 атм***

| 25°C | 150°C |
|---|---|
| $H_2$ – г, *p* = 1 атм | $H_2$ – г, *p* = 1 атм |
| $I_2$ – к, *p* = 1 атм | $I_2$ – ж, *p* = 1 атм |
| $H_2O$ – ж, *p* = 1 атм | $H_2O$ – г, *p* = 1 атм |

Стандартная энтальпия образования вещества $\Delta_f H^\circ$ — **энтальпия реакции образования 1 моль этого вещества в** *стандартном состоянии* **из соответствующих простых веществ, также взятых** *в стандартном состоянии.*

$\Delta_f H^\circ_{298}$ — табулированы

Стандартная энтальпия образования $\Delta_f H^\circ$ простого вещества *в стандартном состоянии* равна нулю.

Условились!

**1.Равной нулю считать энтальпию образования простого вещества в стандартном состоянии при 25°C (298K)**

$I_2$(к.) $\Delta_f H^\circ_{298} = 0$ $\quad I_2$(ж.), $I_2$(г.) $\Delta_f H^\circ_{298} \neq 0$

***В таблицах*** $\Delta_f G^\circ_{296}$

***Стандартная энергия Гиббса образования*** $\Delta_f G^\circ$ *— изменение энергии Гиббса при образовании 1 моля вещества в стандартном состоянии из простых веществ в стандартных состояниях элементов*

*ΔH — (не имеет абс. вел.)* $\quad$ *S — (имеет абс. вел.)*

*ΔG — не имеет абсолютной величины*

***Энергия Гиббса образования*** $\Delta_f G^\circ$ ***простого вещества в стандартном состоянии элемента*** ***при любой температуре*** ***равна нулю.***

**2. Если элемент образует несколько простых веществ, равной нулю считается стандартная энтальпия образования** $\Delta_f H^\circ$ **только одного из них (***наиболее распространенного при* 298 К (25°C))

C(графит) $\Delta_f H^\circ_{298} = 0$ $\quad$ C(алмаз) $\Delta_f H^\circ_{298} = 1{,}8$ кДж/моль

$O_2$(г.) $\Delta_f H^\circ_{298} = 0$ $\quad O_3$(г.) $\Delta_f H^\circ_{298} = 142{,}3$ кДж/моль

*Исключение:* P(белый) *(не является наиболее распространенной и устойчивой формой фосфора при* 298 К) $\Delta_f H^\circ_{298} = 0$

## Вопросы и упражнения

**1.** Зная, что $\Delta H^o$ образования $N_2O(г)$ равно 82, 0 кДж/моль и $\Delta H^o = -557{,}5$ кДж для реакции:

$$C(\text{графит}) + 2N_2O(г) = CO_2(г) + 2N_2(г),$$

определите энтальпию образования $CO_2(г)$.

**2.** Зная, что $\Delta H^o_{обр}(H_2O(ж) = -286$ кДж/моль и $\Delta H^o = -196$ кДж для реакции:

$$2H_2O_2 \rightarrow 2H_2O(ж) + O_2,$$

определите энтальпию образования $H_2O_2$.

**3.** Зная, что $\Delta H^o$ образования $CO_2(г)$ и $H_2O(г)$ равны соответственно –394 и –242 кДж/моль и $\Delta H^o = -802$ кДж для реакции:

$$CH_4(г) + 2O_2(г) = 2H_2O(г) + CO_2(г),$$

определите энтальпию образования $CH_4(г)$.

**4.** Не производя вычислений, определите, как изменяется энтропия в следующих реакциях:

**а)** $N_{2\,(г)} + 3H_{2\,(г)} \rightarrow 2NH_{3\,(г)}$
**б)** $H_2O_{\,(ж)} \rightarrow H_2O_{\,(г)}$
**в)** $2O_{3\,(г)} \rightarrow 3O_{2\,(г)}$
**г)** $2SO_{2\,(г)} + O_{2\,(г)} \rightarrow 2SO_{3\,(г)}$
**д)** $C_3H_{8\,(г)} + 5O_{2\,(г)} \rightarrow 3CO_{2\,(г)} + 4H_2O_{(ж)}$
**е)** $NH_{3\,(г)} + HCl_{\,(г)} \rightarrow NH_4Cl_{\,(к.)}$

**5.** Вычислите $\Delta G^o$ следующих реакций и определите, в каком направлении они будут протекать при стандартных условиях, если реагенты и продукты реакции газообразные:

**а)** $2N_2O + O_2 \rightarrow 4NO$
**б)** $N_2O + NO \rightarrow NO_2 + N_2$
**в)** $N_2O + NO_2 \rightarrow 3NO$
**г)** $2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2$
**д)** $2NO_2 \rightarrow N_2O_4$
**е)** $N_2 + O_2 \rightarrow 2NO$

**6.** Железо массой 7 г сожгли в хлоре, получив хлорид железа (III). При этом количество выделившейся теплоты составило 50 кДж. Напишите термохимическое уравнение данной реакции.

**ТЕСТ «Основы химической термодинамики и химическое равновесие»**

***1. Какое из уравнений является термохимическим по современным правилам записи?***

**1)** $2Al + 3Cl_2 = 2AlCl_3$

**2)** $CuS_{(к)} + 2O_2(г) = CuSO_{4(к)}$; $\Delta H^0 = -520$ кДж/моль

**3)** $PbO + CO = Pb + CO_2 + 64$ кДж

***2. Определите энтальпию образования оксида фосфора (V), если при сгорании 6,2 г фосфора выделяется 299,4 кДж тепла.***

**1)** +2994 **2)** –2994 **3)** –1497 **4)** +1497 (кДж/моль)

***3. Не проводя расчётов, определите, как изменяется энтропия данной реакции и возможность ее протекания в изолированной системе:***

$$NH_3(г) + HCl(г) = NH_4Cl(г).$$

**1)** $\Delta S^0 < 0$, возможно; **3)** $\Delta S^0 < 0$, невозможно;

**2)** $\Delta S^0 > 0$, возможно; **4)** $\Delta S^0 > 0$, невозможно;

**5)** реакция находится в состоянии равновесия.

***4. Вычислите температуру, при которой становится возможной реакция $CaCO_3(к) = CaO(к) + CO_2(г)$, если её энтальпия $\Delta H^0 = 178$ кДж, а энтропия $\Delta S^0 = 164,7$ Дж/моль·К.***

**1)** 100 °С **2)** 800 °С **3)** 1500 °С **4)** 1000 °С

**ТЕСТ «Основы химической термодинамики и химическое равновесие»**

***1. Экзотермическими называются реакции, при протекании которых***

**1)** $\Delta H > 0$; **2)** $\Delta H < 0$; **3)** тепло поглощается; **4)** тепло выделяется.

***2. Исходя из термохимического уравнения***

$$CH_4(г) + 2O_2(г) = CO_2(г) + 2H_2O(г);\ \Delta H^0 = -802,2\ кДж,$$

***определите, сколько тепла выделяется при сгорании 112 л метана.***

**1)** 802,2 кДж **2)** 560,4 кДж **3)** 2802 кДж **4)** 4011 кДж

***3. Не проводя расчётов, определите, как изменяется энтропия данной реакции и возможность ее протекания в изолированной системе***

$$N_2(г) + 2O_2(г) = 2NO_2(г)$$

**1)** $\Delta S^0 < 0$, возможно; **3)** $\Delta S^0 < 0$, невозможно;

**2)** $\Delta S^0 > 0$, возможно; **4)** $\Delta S^0 > 0$, невозможно;

**5)** реакция находится в состоянии равновесия.

***4. Определите знаки $\Delta H^0$, $\Delta S^0$ и $\Delta G^0$ для реакции: $A(к) + B_2(г) = AB_2(к)$, протекающей при стандартной температуре в прямом направлении.***

**1)** $\Delta H^0 > 0$, $\Delta S^0 > 0$, $\Delta G^0 > 0$ **2)** $\Delta H^0 > 0$, $\Delta S^0 > 0$, $\Delta G^0 < 0$

**3)** $\Delta H^0 < 0$, $\Delta S^0 < 0$, $\Delta G^0 < 0$ **4)** $\Delta H^0 < 0$, $\Delta S^0 > 0$, $\Delta G^0 > 0$

**ЗАНЯТИЕ №3**

| **Тема: Закономерности протекания химических реакций. Химическая кинетика и химическое равновесие** | **Дата** _____ |
|---|---|
| **ПЕРЕЧЕНЬ ИЗУЧАЕМЫХ ВОПРОСОВ**<br>1. Скорость химической реакции для гомогенных и гетерогенных процессов.<br>2. Факторы, от которых зависит скорость химической реакции.<br>3. Зависимость скорости реакции от концентраций реагентов. Простые и сложные реакции.<br>4. Зависимость скорости реакции от температуры. Правило Вант Гоффа. Температурный коэффициент скорости химической реакции.<br>5. Энергия активации. Уравнение Аррениуса.<br>6. Катализаторы. Гомогенный и гетерогенный катализ. Селективность действия катализатора.<br>7. Химическое равновесие. Условие химического равновесия.<br>8. Закон действующих масс. Константа химического равновесия.<br>9. Смещение химического равновесия. Правило Ле Шателье. | **ИСТОЧНИК**<br>1. Материалы лекций<br>2. [1-3] – учебник<br>3. [4-11] |

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4 «Закономерности протекания химических реакций»**

**Задание**

**1. Изучение влияния концентрации на скорость реакции.**

а) Приготовьте три пробирки с раствором тиосульфата натрия с возрастающей условной концентрацией.

б) По секундомеру определите время протекания реакции после последовательного добавления к каждому раствору серной кислоты.

Результаты внесите в таблицу, рассчитайте условные скорости реакции.

**Методика выполнения и результаты**

**1. Изучение влияния концентрации на скорость реакции.**

а) Тиосульфат натрия $Na_2S_2O_3$ разлагается в растворе серной кислоты по уравнению реакции:

$$Na_2S_2O_3 + H_2SO_4 \rightarrow Na_2SO_4 + H_2O + SO_2 + S\downarrow$$

Реакция протекает по следующим стадиям:

$S_2O_3^{2-} + 2H^+ \rightarrow H_2S_2O_3$ (очень быстро);

$H_2S_2O_3 \rightarrow H_2SO_3 + S$ (медленно);

$H_2SO_3 \rightarrow H_2O + SO_2$ (быстро).

Скорость данной реакции определяется второй (медленной) стадией.

б) Определите время реакции после добавления к раствору серной кислоты

| **№ пробирки** | **Объем реактива, мл** | | | **Условная концентрация** $Na_2S_2O_3$ | **Время реакции** $\tau$, **сек** | **Условная скорость,** $r = 1/\tau$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $Na_2S_2O_3$ | $H_2O$ | $H_2SO_4$ | | | |
| **1** | 2 | 4 | 2 | 1C | | |
| **2** | 4 | 2 | 2 | 2C | | |
| **3** | 6 | – | 2 | 3C | | |

Постройте график зависимости скорости разложения тиосульфата натрия от его концентрации.

Сделайте вывод о характере зависимости скорости реакции от концентрации.

**2. Изучение влияния температуры на скорость реакции.**

а) В двух пробирках приготовить раствор тиосульфата натрия и серной кислоты.

б) Поместите обе пробирки в водяную баню на 3-4 минуты.

в) По секундомеру определите время реакции после добавления к раствору серной кислоты.

г) Вычислите температурный коэффициент реакции $\gamma$. Сделайте вывод о зависимости скорости реакции от температуры.

**2. Изучение влияния температуры на скорость реакции.**

| **№ пробирки** | **Объем реактива, мл** | | | **Условная концентрация** $Na_2S_2O_3$ | **Время реакции** $\tau$, **сек** | **Условная скорость,** $r = 1/\tau$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $Na_2S_2O_3$ | $H_2O$ | $H_2SO_4$ | | | |
| Температура опыта $t_1$ | | | | | | |
| **1** | 2 | 4 | 2 | 1C | | |
| Температура опыта $t_2$ | | | | | | |
| **2** | 2 | 4 | 2 | 1C | | |

Вычислите температурный коэффициент реакции из уравнения Вант-Гоффа:

$$\frac{r_2}{r_1} = \gamma^{\frac{t_2 - t_1}{10}}$$

| **3. Влияние изменения температуры на состояние химического равновесия.**<br>а) В две пробирки налить по 2 мл крахмала и добавить 1-2 капли йодной воды.<br><br>б) Поместите одну пробирку в водяную баню на 3-4 минуты при температуре 60-70°С. | **3. Влияние изменения температуры на состояние химического равновесия.**<br>а) $x\cdot(C_6H_{10}O_5)_n + y\cdot I_2 \rightarrow x\cdot(C_6H_{10}O_5)_n\cdot y\cdot I_2, \pm \Delta H = ?$<br><br>По изменению цвета раствора сделайте вывод о направлении смещения равновесия.<br><br>Охладите пробирку и сделайте заключение о тепловом эффекте реакции. |
|---|---|
| | Подпись преподавателя _____ |

**Химическая кинетика изучает закономерности протекания химических реакций во времени**

**ПРОСТЫЕ РЕАКЦИИ** A → B (*одностадийные*)

**СЛОЖНЫЕ РЕАКЦИИ** C → D (*многостадийные*)

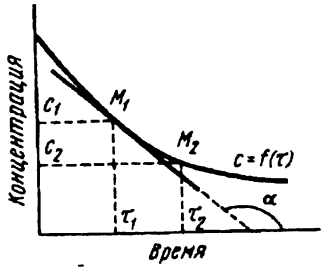
| *последовательные* | *параллельные* |
|---|---|
| механизм: C → E *(быстро)*; E → F *(медленно)*; F → D *(быстро)* | C → E *(медленно)*; C → F *(медленно)*; C → D *(быстро)* — механизм |
| *лимитирующая стадия* | *лимитирующая стадия* |
| E → F | C → D |

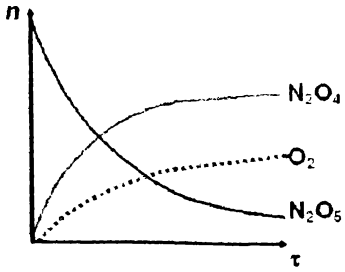
- **Скорость реакции** – количество соударений в единицу времени между взаимодействующими частицами, пропорциональна концентрации.

$$v = \pm\frac{\Delta c}{\Delta \tau}(\Delta t \to 0) = \pm\frac{dc}{dt}$$

$$\Delta c = c_2 - c_1$$

$$\Delta \tau = \tau_2 - \tau_1$$




$$2N_2O_5(р.) = 2N_2O_4(р.) + O_2(г.)$$

$$r = \frac{\Delta n_{O_2}}{V \cdot \Delta\tau} = -\frac{1}{2}\frac{\Delta n_{N_2O_5}}{V \cdot \Delta\tau} = \frac{1}{2}\frac{\Delta n_{N_2O_4}}{V \cdot \Delta\tau}$$

$$r = \pm\frac{\Delta n_i}{m_i \cdot V \cdot \Delta\tau}$$

***Скорость реакции*** **– изменение количества вещества, в единице объема, в единицу времени, рассчитанное на единицу его стехиометрического коэффициента** $m_i$

***Скорость гетерогенной реакции*** **— изменение количества вещества** $n$ **в единицу времени** $\tau$ **на единицу поверхности** $S$

$$r = \pm\frac{1}{S}\frac{dn}{d\tau}$$

СТАДИИ ПРОЦЕССА

1. **Подвод реагентов к границе раздела**
2. **Химическая реакция**
3. **Отвод продуктов реакции**

***Медленная стадия*** **(2)** ⇒ кинетическое уравнение

***Медленная стадия*** **(1) или (3)** ⇒ нет кинетического уравнения

**Закон действующих масс (1867)**

$$aA + bB \leftrightarrows cC + dD$$

$$K_c = \frac{[C]^c \cdot [D]^d}{[A]^a \cdot [B]^b},$$

где [A], [B] и т.д. – равновесные концентрации веществ (моль/л);

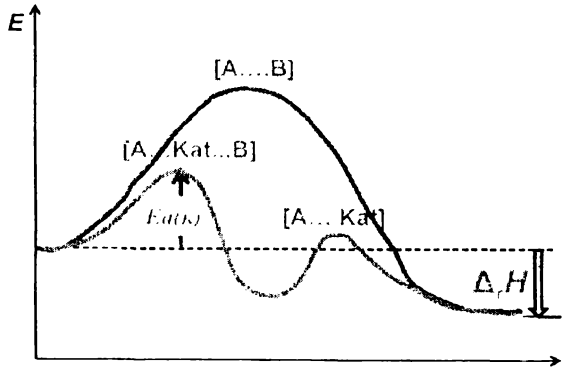
Если вещества – газы, то константа равновесия имеет вид:

$$K_p = \frac{P_C^c \cdot P_D^d}{P_A^a \cdot P_B^b},$$

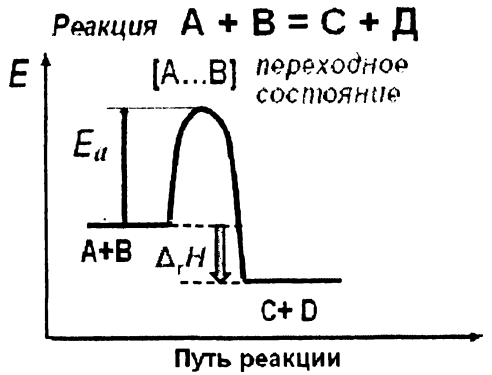
где $p_A$, $p_B$ – парциальные давления газов.

ВЛИЯНИЕ КАТАЛИЗАТОРА НА СКОРОСТЬ

***Катализаторы*** – вещества, ускоряющие химическую реакцию. Вступают в промежуточное химическое взаимодействие с участниками реакции, а затем восстанавливают свой химический состав.




ЗАВИСИМОСТЬ СКОРОСТИ РЕАКЦИИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ




**Энергия активации** $E_a$ **— минимальная избыточная энергия, необходимая молекулам для вступления в реакцию.**

- **эмпирическое уравнение Вант-Гоффа**

$$V_2 = V_1 \cdot \gamma^{\frac{t_2 - t_1}{10}}$$

$V_1$, $V_2$ – скорости реакции при температурах $t_1$, $t_2$;
$\gamma$ – температурный коэффициент реакции.

**Уравнение Аррениуса (1889)**

$$k = k_0 \cdot e^{-\frac{E_a}{RT}},$$

где $k_o$ – предэкспоненциальный множитель;

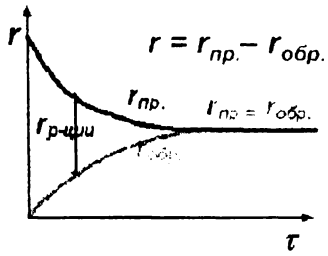
$E_a$ – энергия активации.

Обратимые реакции $aA + bB \leftrightarrows cC + dD$ *(простая)*

**Принцип независимости:** ***Если в системе протекает несколько реакций, то каждая из них подчиняется основному закону химической кинетики и протекает независимо от других реакций.***

$$r_{пр.} = k_{пр.} C_A^a \cdot C_B^b$$

$$r_{обр.} = k_{обр.} C_C^c \cdot C_D^d$$




*Равновесие (динамическое)* $r_{пр.} = r_{обр.}$

$$k_{пр.}|A|^a \cdot |B|^b = k_{обр.}|C|^c \cdot |D|^d$$

$k_{пр.}$, $k_{обр.}$ — *const (при определенной t°)*

$$\frac{k_{пр.}}{k_{обр.}} = \frac{|C|^c \cdot |D|^d}{|A|^a \cdot |B|^b} = K$$

(ЗДМ) отношение концентраций продуктов в степенях их стехиометрических коэффициентов, к концентрациям исходных веществ, в степенях их стехиометрических коэффициентов, величина постоянная (*K* РАВНОВЕСИЯ)

Обратимые реакции $aA + bB \leftrightarrows cC + dD$ *(сложная)*

**Принцип независимости:** ***Если в системе протекает несколько реакций, то каждая из них подчиняется основному закону химической кинетики и протекает независимо от других реакций.***

$$K = \frac{|C|^c \cdot |D|^d}{|A|^a \cdot |B|^b}$$ *константа равновесия*

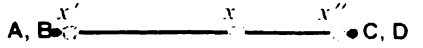
*1 стадия* $r_{пр.1} = r_{обр.1}$ $K_1$

*2 стадия* $r_{пр.2} = r_{обр.2}$ $K_2$

*n стадия* $r_{пр.n} = r_{обр.n}$ $K_n$

$$K_1 \cdot K_2 \cdot \ldots K_n = \frac{|C|^c \cdot |D|^d}{|A|^a \cdot |B|^b} = K$$

## СОСТОЯНИЕ РАВНОВЕСИЯ




**[A], [B], [C], [D] – измеримы**
***ОБРАТИМАЯ РЕАКЦИЯ***

**$N_2(г) + 3H_2(г) \leftrightarrows 2NH_3(г)$**

**[C], [D] – нельзя измерить**
***РЕАКЦИЯ НЕ ИДЕТ***

**$N_2(г) + 2O_2(г) \neq 2NO(г)$**

**[A], [B] – нельзя измерить**
***РЕАКЦИЯ НЕОБРАТИМА***

**$HCl(р) + NaOH(р) = NaCl(р) + H_2O(ж)$**

*необратимость* $\leftrightarrows$ обратимость $N_2(г) + 2O_2(г) \leftrightarrows 2NO(г)$ **> 1000°C**

## КОНСТАНТА РАВНОВЕСИЯ

$$\Delta_r G = \Delta_r G^\circ + RT \ln \frac{a_C^c \cdot a_D^d}{a_A^a \cdot a_B^b}$$

*Равновесие:* $\Delta_r G = 0$

$$K = \frac{|C|^c \cdot |D|^d}{|A|^a \cdot |B|^b} = \frac{\prod c^i_{(прод.)}}{\prod c^j_{(исх.в-в)}} \Leftrightarrow K = \frac{\prod a^i_{(прод.)}}{\prod a^j_{(исх.в-в)}}$$

***КОНСТАНТА РАВНОВЕСИЯ*** – отношение произведения активностей продуктов реакции к произведению активностей исходных веществ в степенях, соответствующих стехиометрическим коэффициентам

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K \qquad K = e^{-\frac{\Delta G}{RT}}$$

$K > 1$ $(\Delta_r G^\circ < 0)$ — *равновесие смещено в сторону продуктов реакции*

$K < 1$ $(\Delta_r G^\circ > 0)$ — *равновесие смещено в сторону исходных веществ*

## УСЛОВИЕ ХИМИЧЕСКОГО РАВНОВЕСИЯ

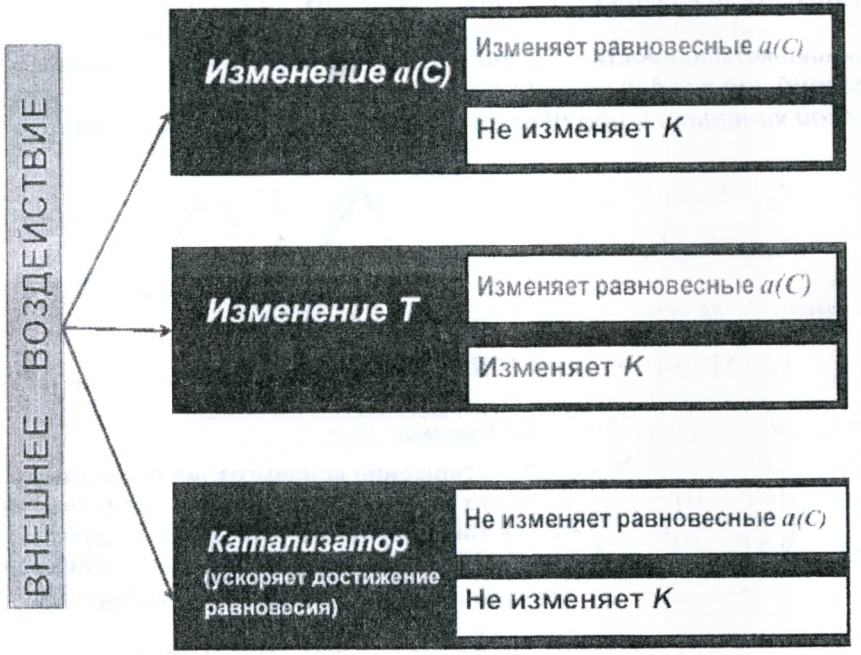
1. Состояние равновесия может быть достигнуто только в закрытой системе как со стороны исходных веществ, так и со стороны продуктов реакции.
2. В состоянии равновесия $\Delta_r G_{пр.} = \Delta_r G_{обр.} = 0$.
3. В состоянии равновесия $r_{пр.} = r_{обр.}$ .
4. При изменении внешних условий (температуры, давления, активностей участников) состояния равновесия изменяется (смещается)

### СМЕЩЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО РАВНОВЕСИЯ

***Смещение химического равновесия*** – это изменение относительных количеств участников реакции (реагентов и продуктов), вызванное действием внешних условий.

1. Изменение концентраций реагентов или продуктов реакции (изменение давления или объема.
2. Изменение температуры реакции.
3. Участие *катализатора.)*

***Химическое равновесие*** – не изменяющееся во времени при постоянных давлении, температуре и объеме состоянии системы, содержащее вещества способные к взаимодействию.




**Принцип Ле Шателье:** если на систему, находящуюся в равновесии, оказывается внешнее воздействие, смещающее это равновесие, то данное равновесие смещается в сторону, ослабляющую это воздействие, до тех пор, пока в системе противодействие не станет равным оказываемому воздействию.

**Константа равновесия зависит:**

1.от природы реагирующих веществ;
2.температуры.

**Константа равновесия не зависит:**

*от концентраций веществ.*

## Вопросы и упражнения

**1.** В двух сосудах одинакового объема идут две независимые реакции. В первом сосуде получено 7,3 г хлороводорода, а во втором за такое же время получено 19,2 г йодоводорода. В каком сосуде реакция идет с большей средней скоростью?

**2.** Напишите выражение для скорости реакции для следующих процессов:

**а)** $S(т) + O_2(г) \rightarrow SO_2(г)$;
**б)** $2NO(г) + O_2(г) \rightarrow 2NO_2(г)$;
**г)** $CaCO_3(т) \rightarrow CaO(т) + CO_2(г)$;
**д)** $2HI(г) \rightarrow H_2(г) + I_2(г)$.

**3.** Как изменится скорость реакции: $2NO + Cl_2 = 2NOCl$

**а)** при увеличении концентрации хлора в 2 раза,
**б)** при увеличении концентрации NO в 3 раза,
**в)** при увеличении давления в системе в 4 раза?

**4.** При $t = 124^oC$ реакция закончилась за 4 минуты. За какое время закончится эта реакция при $t = 84^oC$, если $\gamma = 4$?

**5.** Напишите выражения для константы равновесия для следующих процессов:

**а)** $2SO_2(г) + O_2(г) \leftrightarrows 2SO_2(г)$;
**б)** $N_2(г) + O_2(г) \leftrightarrows 2NO(г)$;
**г)** $3H_2(г) + N2 \leftrightarrows 2NH_3(г)$;
**д)** $2HI(г) \leftrightarrows H_2(г) + I_2(г)$.

**6.** Как сдвинется равновесие реакции: $2H_2 + O_2 = 2H_2O(г)$, $\Delta H < 0$:

**а)** при уменьшении давления; **б)** при увеличении объема системы:
**в)** при увеличении температуры; **г)** при уменьшении концентрации кислорода?

**7.** Начальные концентрации веществ A и B, участвующих в реакции $2A(г) + B(г) \leftrightarrows C(г)$, равны соответственно 0,5 и 0,3 моль/л. Константа скорости реакции равна 0,4. Найдите скорость реакции, когда концентрация B уменьшится на 0,1 моль/л. Рассчитайте равновесные концентрации всех реагирующих веществ и вычислите константу равновесия, если к этому моменту прореагировало 50% вещества A.

**8.** В каком направлении сместится равновесие реакции $N_2 + O_2 = NO(г)$, если давление увеличить в 2 раза и одновременно повысить температуру на $10^oC$? На основании расчетов определите знак $\Delta H$ этой реакции.

## ТЕСТ «Химическая кинетика и химическое равновесие»

***1. Как изменится скорость прямой реакции $C_{(тв.)}+CO_{2(газ)}=2CO_{(газ)}$ при увеличении давления в 2 раза?***

**1)** не изменится; **2)** увеличится в 4 раза;
**3)** уменьшится в 4 раза; **4)** увеличится в 2 раза;
**5)** уменьшится в 2 раза.

***2. Две реакции при $0^0$ протекают с одинаковой скоростью $V_1 = V_2$, температурный коэффициент скорости первой реакции равен 5, второй – 7. Как будут относиться скорости реакции $V_1/V_2$, если реакции проводить при $50^0C$?***

**1)** 5 (50/10); **2)** 7/5; **3)** 5/7; **4)** $5^{50/10}$; **5)** $(5/7)^{50/10}$.

***3. В системе установилось равновесие:***

$$H_2 + Cl_2 = 2HCl \quad \Delta H = -92{,}3 \text{ кДж/моль.}$$

***В какую сторону оно сместится при понижении температуры?***

**1)** влево; **2)** вправо; **3)** не сместится.

***4. В системе установилось равновесие:***

$$3Fe_2O_{3(кр.)}+H_2 \leftrightarrow 2Fe_3O_{4(кр.)}+H_2O_{(газ)}$$

***В какую сторону сместится равновесие при повышении давления?***

**1)** влево; **2)** не сместится; **3)** вправо.

***5. Какой ответ является математическим выражением закона действующих масс для обратимой реакции:***

$$MgCO_3(к) \rightleftarrows MgO(к) + CO_2(г)?$$

**1)** $K = \dfrac{[MgO]\cdot[CO_2]}{[MgCO_3]}$; **2)** $K = \dfrac{[MgCO_3]}{[MgO]\cdot[CO_2]}$;

**3)** $K = [CO_2]$; **4)** $K = \dfrac{1}{[CO_2]}$.

## ТЕСТ «Химическая кинетика и химическое равновесие»

***1. Укажите гетерогенную реакцию:***

**1)** $C + O_2 = CO_2$; **2)** $2NO_2 = 2N_2 + O_2$;
**3)** $Cl_2 + CH_4 = CH_3Cl + HCl$; **4)** $N_2O + H_2 = N_2 + H_2O$.

***2. Какая из формул соответствует простой гомогенной реакции***

$$A + 2B = C?$$

**1)** $r = k[B]^2$; **2)** $r = k[A][B]^2$;
**3)** $r = k[A]^2[B]$; **4)** $r = k[A][B]$.

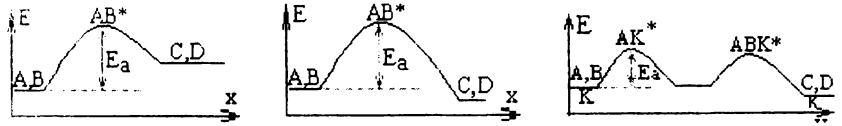
**3. Выберите правильное выражение для скорости реакции**

$$2H_2O_2 = 2H_2O + O_2:$$

**1)** $r = -\dfrac{d[H_2O_2]}{2d\tau}$; **2)** $r = \dfrac{d[H_2O]}{d\tau}$; **3)** $r = -\dfrac{d[O_2]}{d\tau}$; **4)** $r = \dfrac{d[O_2]}{2d\tau}$.

***4. Какой из графиков соответствует каталитической реакции:***

$$A + B = C + D?$$




***5. Реакция гомогенного каталитического окисления оксида серы (IV) состоит из двух стадий:***

$$2NO + O_2 = 2NO_2 \quad и \quad NO_2 + SO_2 = NO + SO_3.$$

***Какое из веществ является катализатором?***

**1)** NO; **2)** $O_2$; **3)** $SO_2$; **4)** $SO_3$.

***9. Выберите правильное(ые) утверждение(я):***

**1)** Катализатор увеличивает число межмолекулярных столкновений;
**2)** Катализатор понижает энергию активации реакции;
**3)** Катализатор увеличивает скорость молекул;
**4)** Катализатор устраняет промежуточные стадии реакции.

## ИТОГОВОЕ ЗАНЯТИЕ № 1

| Тема: «Особенности протекания химических реакций» | Дата _____ |
|---|---|

**1.** Приведите формулировку и математическое выражение закона эквивалентов. При окислении 16,74 г двухвалентного металла образовалось 21,54 г оксида. Чему равна эквивалентная и атомная масса металла? Какой это металл?

**2.** При нагревании 0,92 г олова в кислороде образовалось 1,17 г оксида. Вычислите эквивалентную массу и валентность олова и напишите формулу образовавшегося оксида.

**3.** Массовая доля кислорода в оксиде неизвестного четырехвалентного металла составляет 40,05%. Вычислите эквивалентную и атомную массы металла, найдите его в Периодической системе, напишите формулу его оксида.

**4.** Как практически показать амфотерность оксида хрома (III) и гидроксида хрома (III)? Напишите уравнения соответствующих реакций.

**5.** Как вывести формулу кислоты, если известен ее ангидрид? Покажите на примере серного ($SO_3$), сернистого ($SO_2$), азотного ($N_2O_5$) и азотистого ($N_2O_3$) ангидридов.

**6.** Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить превращения:
$Fe \rightarrow FeO \rightarrow FeSO_4 \rightarrow Fe(OH)_2 \rightarrow Fe(OH)_3 \rightarrow Fe(NO_3)_3 \rightarrow Fe_2O_3 \rightarrow Fe$

**7.** Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить превращения:
$Zn \rightarrow ZnO \rightarrow Zn(NO_3)_2 \rightarrow Zn(OH)_2 \rightarrow ZnO \rightarrow Zn$

**8.** Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить превращения:
$S \rightarrow SO_2 \rightarrow SO_3 \rightarrow H_2SO_4 \rightarrow K_2SO_4 \rightarrow BaSO_4$

**9.** Какая функция состояния вещества называется его стандартной энтальпией образования? При взаимодействии 10 г серы с кислородом выделилось 92,8 кДж тепла. Вычислите стандартную энтальпию образования оксида серы (IV), сравните со справочным значением.

**10.** Почему энергия Гиббса химической реакции является критерием возможности и направления самопроизвольного протекания химических реакций? Почему в общем случае нельзя использовать в качестве такого критерия тепловой эффект реакции или изменение энтропии?

**11.** Что понимается под энтальпийным и энтропийным факторами химического процесса? Какая характеристика учитывает эти два противоположных фактора, влияющих на направление самопроизвольного протекания реакции?

**9.** Анализом уравнения $\Delta G^\circ_T = \Delta H^\circ_{298} - T \cdot \Delta S^\circ_{298}$ примерами покажите, что при низких температурах в качестве критерия возможности и направления самопроизвольного протекания реакции можно использовать энтальпию реакции, а при высоких – энтропию реакции.

**10.** Химические соединения подразделяются на термодинамически устойчивые и термодинамически неустойчивые. По какому признаку проводится такое разделение? Почему термодинамически неустойчивые вещества существуют и как их получают?

**11.** Как записывается в математическом виде закон действующих масс для химического равновесия? Напишите его выражение через равновесные концентрации и равновесные парциальные давления для обратимых реакций: $N_2(г) + O_2(г) \rightarrow 2NO(г)$.

**12.** Какие факторы влияют на величину константы химического равновесия? Напишите выражения для расчета константы равновесия через равновесные концентрации и равновесные парциальные давления газов для обратимых реакций: $H_2(г) + I_2(г) \rightarrow 2HI(г)$.

**12.** Объясните физико-химический смысл понятия «энергия активации химической реакции».

**ЗАНЯТИЕ №4**

| **Тема: Растворы. Произведение растворимости. Растворы электролитов** | **Дата** _____ |
|---|---|
| **ПЕРЕЧЕНЬ ИЗУЧАЕМЫХ ВОПРОСОВ**<br>1. Раствор, растворенное вещество, растворитель. Тепловые эффекты при растворении.<br>2. Концентрация растворенного вещества в растворе. Эквивалент, фактор эквивалентности, молярная масса эквивалентов вещества. Закон эквивалентов. Закон эквивалентов для растворов.<br>3. Электролитическая диссоциация. Диссоциация соединений с ионной связью (оснований и солей) и соединений с ковалентной связью (кислот).<br>4. Степень диссоциации. Сильные и слабые электролиты. Константа диссоциации.<br>5. Закон разбавления Оствальда. Диссоциация сильных электролитов. Активность. Коэффициент активности. Ионная сила раствора. Зависимость активности иона от его заряда и ионной силы раствора.<br>6. Ионные уравнения реакций. Условия протекания реакций в растворах. | **ИСТОЧНИК**<br>1. Материалы лекций<br>2. [1-3] – учебник<br>3. [4-11] |

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5 «Приготовление раствора заданной нормальной (эквивалентной) концентрации»**

| **Задание** | **Методика выполнения и результаты** |
|---|---|
| **Приготовление раствора буры заданной нормальной концентрации**<br>а) Получите у преподавателя задание и рассчитайте массу соли необходимую для приготовления 50см$^3$ раствора заданной концентрации. | а) Рассчитайте, массу соли, необходимую для приготовления 50 см$^3$ раствора заданной концентрации.<br>Из формулы расчета эквивалентной концентрации находим необходимое количество соли:<br>$C_н = \frac{n_{эвещества} \cdot Э_{вещества}}{V_{раствора}}$, моль·экв/ дм$^3$ |
| б) Взвесьте рассчитанную массу соли на технических весах. Растворите ее в мерной колбе и долейте дистиллированной водой до метки. Закройте колбу пробкой и тщательно перемешайте раствор. | б) Зная молярную массу кристаллогидрата, рассчитываем массу соли:<br>$m_{кристаллогидрата} = n_{эвещества} \cdot M_{кристаллогидрата}$, г |

в) Определите эквивалентную концентрацию и сравните с полученным заданием. Для этого мерным цилиндром отмерьте 10 $см^3$ приготовленного раствора, перелейте в плоскодонную колбу, добавьте 2 капли индикатора метилового оранжевого и титруйте 0,1 н раствором HCl до изменения окраски с желтой на оранжевую. Результат внесите в таблицу. Повторите титрование 3 раза, результат не должен отличаться более чем на 0,1 $см^3$.

г) Рассчитайте концентрацию приготовленного раствора по закону эквивалентов. Вычислите молярность, массовую долю, моляльность и мольную долю вещества приготовленного раствора.

д) Определите относительную ошибку эксперимента.

в) Определите эквивалентную концентрацию и сравните с полученным заданием.

$$Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O + HCl \rightarrow 4H_3BO_3 + 2NaCl + 5H_2O$$

| № | Аликвота буры, мл | $C_H(Na_2B_4O_7)$ | V(HCl), мл | C (HCl) |
|---|---|---|---|---|
| 1. | | | | |
| 2. | | | | |
| 3. | | | | |
| Ср. знач. | | | | |

г) Рассчитайте эквивалентную концентрацию приготовленного раствора по закону эквивалентов:

$$C_{H_{буры}} \cdot V_{буры} = C_{H_{HCL}} \cdot V_{HCl}$$

Вычислите молярность, массовую долю, моляльность и мольную долю вещества приготовленного раствора.

д) Определите относительную ошибку эксперимента

$$\varepsilon = \frac{\left| C_{H\ теорет.} - C_{H\ эксперим.} \right|}{C_{H\ теорет.}}$$

Подпись преподавателя _____

Дата _____

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6 «Теория электролитической диссоциации. Ионные реакции»

| Задание | Методика выполнения и результаты |
|---|---|
| **Изучить теорию электролитической диссоциации и направление протекания ионных реакций.**<br>**1. Ионизирующее действие воды.**<br>а) В сухой пробирке смешайте<br>- небольшие кол-ва кристаллических $Na_2CO_3$ и $H_2C_2O_4$.<br>- к полученной смеси добавьте 2-3 мл воды. | **1.** Диссоциация электролитов на ионы в водном растворе происходит под действием полярных молекул воды.<br>а) Запишите наблюдения.<br><br>Запишите наблюдения.<br><br>б) Запишите уравнения реакций электролитической диссоциации $Na_2CO_3$ и $H_2C_2O_4$ в растворе и уравнение реакции между ними в молекулярном и ионном виде:<br><br>в) Укажите признаки реакций. Выпишите из справочника значения констант диссоциации $H_2CO_3$ и $H_2C_2O_4$ и определите, какая из этих кислот сильнее (сравнивать константу диссоциации первой ступени, т. к. диссоциация протекает преимущественно по 1-й ступени).<br><br>Рассчитайте степень диссоциации электролита на основании закона разбавления Оствальда:<br>$\alpha = \sqrt{\frac{K_{дис}}{C_M}}$ |
| **2. Получение и свойства амфотерных гидроксидов.**<br>а) В пробирку налейте примерно 1 мл раствора любой соли цинка и добавьте по каплям раствор NaOH (2н) до образования осадка.<br>Осадок разделите на две пробирки. В первую пробирку прилейте 1 мл раствора кислоты HCl (2н). Во вторую пробирку прилейте 1 мл раствора NaOH (2н). Аналогичный опыт проведите с солью хрома. | **2.** Амфотерные гидроксиды плохо растворимы в воде и могут взаимодействовать и с кислотами, и со щелочами.<br>а) Запишите наблюдения и напишите уравнения реакций образования $Zn(OH)_2$ и $Cr(OH)_3$ и их взаимодействия с кислотами и щелочами в молекулярном и ионном виде. |

| | |
|---|---|
| | Укажите признаки реакций. Напишите схему равновесий в растворах $Zn(OH)_2$ и $Cr(OH)_3$. На основе принципа Ле Шателье покажите направление смещения равновесий при добавлении кислоты и щелочи. |
| **3. Смещение равновесия в сторону образования осадков.**<br>а) В отдельные пробирки возьмите по 1-2 мл растворов серной кислоты (2н), сульфатов натрия и алюминия. В каждую пробирку добавьте 2-3 капли раствора хлорида бария. | **3.** Запишите наблюдения и напишите уравнения реакций в молекулярном и ионном виде. |
| **4. Смещение равновесия в сторону образования газообразных веществ.**<br>а) В отдельные пробирки возьмите по 1-2 мл любых растворов карбонатов. В каждую пробирку добавьте 3-4 капли раствора соляной кислоты (2н). | **4.** Запишите наблюдения и напишите уравнения проведенных реакций в молекулярном и ионном виде. Сделайте вывод об устойчивости угольной кислоты. Какая из кислот сильнее – соляная или угольная? Почему в справочнике нет значений $K_{дис}$ для соляной кислоты? |
| **5. Зависимость степени диссоциации от природы электролита.**<br>а) В одну пробирку налейте 1-2 мл раствора соляной кислоты (2н), в другую – столько же раствора уксусной кислоты (2н). В каждую пробирку опустите по кусочку металлического цинка примерно одинакового размера. | **5.** Концентрации кислот одинаковы. Скорость реакции будет зависеть от концентрации ионов $H^+$ в растворе, то есть от степени диссоциации исследуемых кислот.<br>а) Запишите, в какой пробирке выделение водорода идет более энергично. Напишите уравнения реакций Zn с HCl и $CH_3COOH$ в молекулярном и ионном виде. |
| | Рассчитайте концентрацию ионов $H^+$ и величину pH в 0,1н растворе HCl и 0,1н растворе $CH_3COOH$ ($K_{дис} = 1{,}8 \cdot 10^{-5}$). |

| | |
|---|---|
| | Сделайте вывод, какой из электролитов имеет более высокое значение степени диссоциации – HCl или $CH_3COOH$. |
| **6. Образование слабого электролита.**<br>а) В одну пробирку налете 5-6 капель раствора ацетата натрия $CH_3COONa$, а в другую – столько же раствора хлорида аммония $NH_4Cl$. В первую пробирку прибавьте несколько капель 2н раствора HCl, а во вторую – несколько капель 2н раствора NaOH. | **6.** Пробирки нагрейте на водяной бане и определите наличие или отсутствие запаха. Напишите молекулярные и ионные уравнения реакций:<br>$CH_3COONa + HCl \rightarrow$<br>$NH_4Cl + NaOH \rightarrow$ |
| **7. Действие одноименного иона на степень диссоциации слабого электролита.**<br>а) В две пробирки налейте по 5-6 капель 2н раствора $CH_3COOH$ и прибавьте по 1 капле индикатора метилоранжа. Одну пробирку оставьте для сравнения, а в другую добавьте немного сухого $CH_3COONa$ и перемешайте. | **7.** а) Наблюдайте изменение окраски индикатора и объясните наблюдаемое изменение.<br>$CH_3COOH \leftrightarrows CH_3COO^- + H^+$ |
| б) Аналигичный опыт выполните с раствором $NH_4OH$. | б) Используйте индикатор фенолфталеин, а в качестве сильного электролита – кристаллический $NH_4Cl$. Как изменяется цвет индикатора и почему?<br>$NH_4OH \leftrightarrows NH_4^+ + OH^-$<br><br>Напишите уравнения диссоциации электролитов и покажите направление смещения ионного равновесия в растворе слабого электролита при введении одноименного иона. |
| | Подпись преподавателя _____ |

Дата _____

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 7 «Гетерогенное равновесие в растворах электролитов. Произведение растворимости»

| Задание | Методика выполнения и результаты |
|---|---|
| **Изучить гетерогенное равновесие в растворах электролитов.**<br>**1. Образование осадка и условие его растворения.**<br>В пробирку налейте 4-5 капель раствора соли кальция и прибавьте по каплям раствор оксалата аммония $(NH_4)_2C_2O_4$ до образования белого осадка. Испытайте растворимость осадка в 2н растворе соляной кислоты. | **1.** Условия образования осадка.<br>а) Напишите молекулярные и ионные уравнения реакций:<br>$CaCl_2 + (NH_4)_2C_2O_4 \leftrightarrows$<br>$CaC_2O_4 + HCl \leftrightarrows$<br><br>б) Выпишите из таблиц константы диссоциации и значения произведения растворимости слабых электролитов.<br><br>в) Сравните величину значения ПР и произведения концентраций ионов слабого электролита. Объясните, причину растворения осадка. |
| **2. Определение направления химических реакций (растворение осадков).**<br>Налейте в пробирку 6-8 капель раствора хлорида или нитрата бария и прибавьте по каплям раствор хромата калия $K_2CrO_4$ до образования желтого осадка. Осадок разделите на две части. К одной части прибавьте 2н раствор HCl, а к другой – 2н раствор $CH_3COOH$. В одной из пробирок наблюдается растворение осадка. | **2.** Запишите наблюдения и молекулярные и ионные уравнения реакций:<br>$Ba(NO_3)_2 + K_2CrO_4 \leftrightarrows$<br>$\downarrow BaCrO_4 + HCl \leftrightarrows$<br>$\downarrow BaCrO_4 + CH_3COOH \leftrightarrows$<br><br>б) Сравните величину значения ПР и произведения концентраций ионов в соляной и уксусной кислоте и объясните наблюдаемое. |
| **3. Разделение ионов кальция $Ca^{2+}$ и бария $Ba^{2+}$.**<br>В конической (центрифужной) пробирке смешайте по 4-5 капель солей кальция и бария. После этого прибавьте 4-5 капель раствора хромата калия $K_2CrO_4$ и перемешайте. Декантацией или фильтрованием отделите осадок от раствора и фильтрат слейте в другую пробирку. | **3.** Используя значения ПР для $BaCrO_4$ и $CaCrO_4$, определите, какое вещество находится в осадке, а какое – в растворе.<br>а) Докажите наличие ионов $Ca^{2+}$ в фильтрате реакцией взаимодействия с раствором $(NH_4)_2C_2O_4$. |

| | |
|---|---|
| | б) Запишите наблюдения, приведите молекулярные и ионные уравнения реакций, рассчитайте константы равновесия:<br>$Ba(NO_3)_2 + K_2CrO_4 \leftrightarrows$<br>$Ca(NO_3)_2 + K_2CrO_4 \leftrightarrows$<br>$CaCrO_4 + (NH_4)_2C_2O_4 \leftrightarrows$ |
| **4. Направление химической реакции в сторону образования менее растворимого соединения (демонстрационный).**<br>Налейте в пробирку 2-3 капли раствора нитрата серебра и прибавьте к нему 2-3 капли раствора хромата калия; | **4.** Составьте молекулярные и ионные уравнения всех превращений цвет осадка:<br>$AgNO_3 + K_2CrO_4 \leftrightarrows \downarrow Ag_2CrO_4 \leftrightarrows \downarrow AgCl \leftrightarrows \downarrow Ag_2S$ |
| – добавьте в пробирку 2-3 капли раствора хлорида натрия. Как изменяется цвет осадка (для наблюдения цвета осадка раствор можно осторожно слить)? | Используя значения констант растворимости, вычислите растворимости полученных соединений и константы равновесия для наблюдаемых процессов. |
| – прибавьте к содержимому пробирки 2-3 капли раствора сульфида натрия и опять запишите цвет осадка. | Сделайте вывод о направлении химических реакций. |
| **5. Изучение условий образования осадка сульфата кальция:** | **5.** Запишите уравнение реакции между $CaCl_2$ и $Na_2SO_4$ в молекулярной и ионной форме. |
| – в первую пробирку налейте 2 мл 0,01М раствора $CaCl_2$ и 2 мл 0,01М раствора $Na_2SO_4$. Зафиксируйте наличие или отсутствие осадка; | Запишите наблюдения: |
| – во вторую пробирку налейте 2 мл 1М раствора $CaCl_2$ и 2 мл 1М раствора $Na_2SO_4$. Зафиксируйте наличие или отсутствие осадка. | Запишите наблюдения: |

Условием образования осадка является превышение произведения молярной концентрации ионов слабого электролита над его произведением растворимости. Таким образом, в данном случае должно выполняться условие:

$$[Ca^{2+}] \cdot [SO_4^{2-}] > ПР = 6{,}1 \cdot 10^{-5}$$

Объясните, почему в одном случае осадок образуется, а в другом – нет. Ответ обоснуйте, произведя расчёты произведения концентрации для обоих случаев и сравнив полученные результаты с произведением растворимости (ПР $CaSO_4 = 6{,}1 \cdot 10^{-5}$).

а) определим химическое количество $CaCl_2$ и $Na_2SO_4$ в исходных растворах по формуле:

$$n = V_{исх} \cdot C_м$$

| для концентраций 0,01М | | | для концентраций 1М | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $n(CaCl_2) = 0{,}002$ л • | = | моль/л | $n(CaCl_2) = 0{,}002$ л • | = | моль/л |
| $n(Na_2SO_4) = 0{,}002$ л • | = | моль/л | $n(Na_2SO_4) = 0{,}002$ л • | = | моль/л |

б) Определим объём раствора после смешения реагентов:

$V_{раствора} = V_1 + V_2 = 0{,}002$ л $+ 0{,}002$ л = л

в) Определим концентрацию солей после смешения реагентов по формуле:

$$C_м = n_{раств.в\text{-}ва} / V_{раствора}$$

| для концентраций 0,01М | | | для концентраций 1М | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $[CaCl_2]$ = | = | моль/л, | $[CaCl_2]$ = | = | моль/л |
| следовательно, $[Ca^{2+}]$ = | | моль/л | следовательно, $[Ca^{2+}]$ = | | моль/л |
| $[Na_2SO_4]$ = | = | моль/л | $[Na_2SO_4]$ = | = | моль/л |
| следовательно, $[SO_4^{2-}]$ = | | моль/л | следовательно, $[SO_4^{2-}]$ = | | моль/л |

г) определим произведение концентрации ионов и сравним с величиной ПР $CaSO_4$

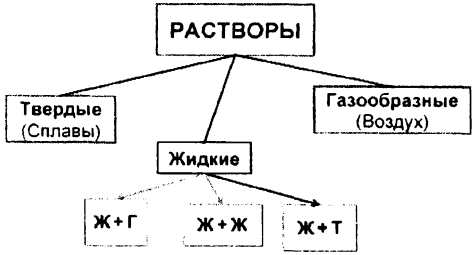
| для концентраций 0,01М | для концентраций 1М |
|---|---|
| $[Ca^{2+}] \cdot [SO_4^{2-}]$ = | $[Ca^{2+}] \cdot [SO_4^{2-}]$ = |

д) сделать вывод об условии образования осадка в данном случае

Подпись преподавателя _____

# ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

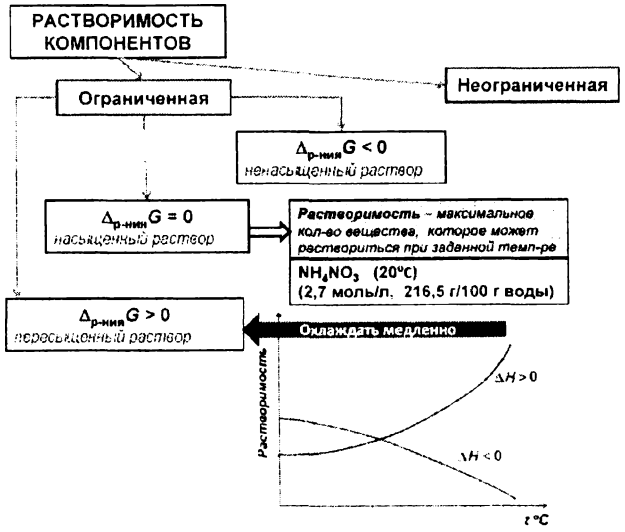
**РАСТВОР – однофазная (гомогенная) система переменного состава из двух или более компонентов**

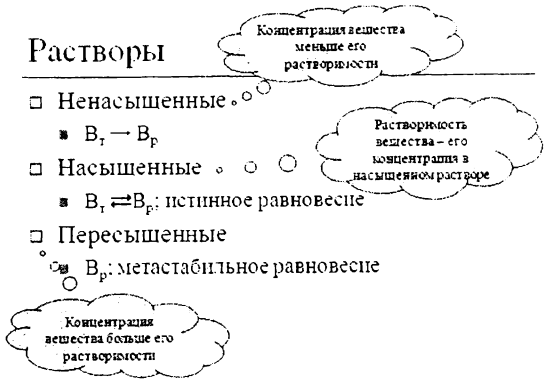



Растворимость данного вещества равна его концентрации в насыщенном растворе.

**Коэффициент растворимости** – растворимость твердых веществ в граммах, растворяющихся в 100 г воды при получении насыщенного раствора.

**Коэффициент абсорбции газа** – объём газа, растворяющегося в одном объёме воды.




- Растворение сопровождается:
- **тепловым эффектом**
  (эндо- или экзотермическая реакция),
- **изменением объема**
  (*общий объем смеси не равен сумме объемов компонентов*)

| Способ выражения состава раствора | Расчетная формула | Размерность | Генетическая связь |
|---|---|---|---|
| Молярность<br>$C_M$<br>$C_i$<br>M | $C_M = \frac{n_{вещества}}{V_{раствора}} = \frac{m_{вещества}}{M_{вещества} \cdot V_{раствора}}$ | Моль дм$^{-3}$ | $C_M = \frac{\omega(\%) \cdot 10 \cdot \rho_{раствора}}{M_{вещества}}$ |
| Массовая доля<br>$\omega$<br>$C_{\%(масс)}$ | $\omega = \frac{m_{вещества}}{m_{раствора}} \cdot 100\%$ | %,<br>безразмерная величина | $\omega = \frac{C_M \cdot M_{вещества}}{10 \cdot \rho_{раствора}}$ |
| Эквивалентная концентрация, нормальность<br>$C_н$<br>N | $C_н = \frac{n_{эвещества}}{V_{раствора}} = \frac{m_{вещества} \cdot Э_{вещества}}{M_{вещества} \cdot V_{раствора}}$ | моль экв дм$^{-3}$ | $C_н = \frac{n_{эвещества} \cdot Э}{V_{раствора}} = C_M \cdot Э$ |
| Моляльность<br>$C_m$ | $C_m = \frac{n_{эвещества}}{m_{растворителя}}$ | моль кг$^{-1}$ | – |
| Мольная доля<br>$N_i$ | $N_i = \frac{n_i}{n_{вещества} + n_{растворителя}}$ | безразмерная величина | – |

**Мольная теплота растворения** - тепловой эффект растворения 1 моль вещества.

$$\Delta H_{р\text{-ния}} = -\frac{Q \cdot m}{M},$$

где $\Delta H_{р\text{-ния}}$ - мольная теплота растворения.
$Q$ - количество поглощенной раствором теплоты.
$m$ - масса растворенного вещества.
$M$- молярная масса растворенного вещества.

$$Q = m\, c\, \Delta T,$$

где $Q$ - количество поглощенной раствором теплоты,
$M$ - масса раствора.
$\Delta T$ - изменение температуры.

Все растворы обладают некоторыми общими **коллигативными (коллективными)** свойствами

Коллигативные свойства не зависят:
- от природы растворителя,
- от природы растворенного вещества,

зависят от концентрации.

**1-е следствие из закона Рауля:**

$$\Delta T_{кип} = K_э \cdot C_m,$$

*где* $\Delta T_{кип} = (T_1 - T_0)$;

$T_1$ – *температура кипения раствора;*

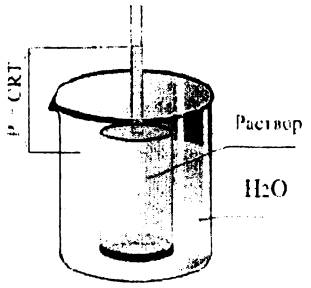
$T_0$ – *температура кипения растворителя;*

$C_m$ – *моляльная концентрация раствора;*

$K_э$ – *эбулиоскопическая постоянная растворителя.*

*от лат «**ebbulire**» **выкипать***

**Осмотическое давление**



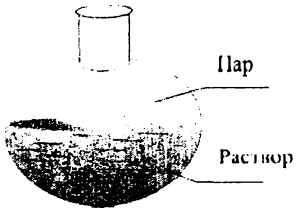

$\chi_1 = 1$ в растворителе

$\chi_1 < 1$ в растворе

**Осмос** – явление односторонней диффузии через полупроницаемую перегородку, разделяющую раствор и чистый растворитель или два раствора разной концентрации.

■ $P_{осм} = C_M \cdot R \cdot T$

■ **1. Понижение давления пара растворителя над раствором. Первый закон Рауля.**




■ ***Испарение – эндотермический процесс*** $\Delta H > 0$

***Конденсация – экзотермический процесс*** $\Delta H < 0$

$\Delta G = 0$ Характеризуется давлением насыщенного пара

$$\frac{P_1^0 - P_1}{P_1^0} = \chi_{в-ва}$$

**2-е следствие из закона Рауля:**

$$\Delta T_{зам} = K_к \cdot C_m,$$

$T_1$ – ***температура замерзания раствора;***

$T_0$ – ***температура замерзания растворителя;***

$C_m$ – ***моляльная концентрация раствора,***

***$K_к$ – криоскопическая постоянная растворителя (от греч. «криос» холод).***

***$K_э$ и $K_к$ табличные значения*** *зависят от природы растворителя и не зависят от природы реагирующих веществ, характеризуют растворитель.*

**Свойства растворов неэлектролитов**

Разбавленные растворы неэлектролитов

$\Delta H=0$ $\Delta G<0$

$\Delta V=0$ $\Delta S>0$

приближаются к идеальным растворам

Растворы

**электролиты** **неэлектролиты**

## ПРОИЗВЕДЕНИЕ РАСТВОРИМОСТИ

В насыщенном растворе сильного электролита

$Kt_nAn_m(к) \leftrightarrows nKt^{+p} + mAn^{-q}$ $\qquad K = a^n_{Kt^{+p}} \cdot a^m_{An^{-q}}$

***Для малорастворимого электролита***

$a_{Kt^{+p}} = [Kt^{+p}],\ a_{An^{-q}} = [An^{-q}]$ $\qquad K = [Kt^{+p}]^n \cdot [An^{-q}]^m = ПР$

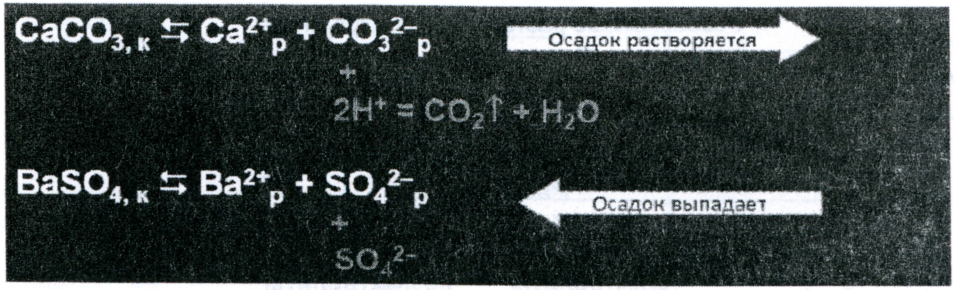
В насыщенном растворе малорастворимого сильного электролита ***произведение концентраций ионов в степенях, соответствующих их стехиометрическим коэффициентам, величина постоянная. Эта величина называется*** *произведением растворимости* ПР (табулированы)

### Смещение равновесия в растворе над осадком

*Изменение С одноименных ионов смещает равновесие и не изменяет* **ПР**

$C^n_{Kt^{+p}} \uparrow,\ C^m_{An^{-q}} \uparrow$ *равновесие* ← *осадок* ↓

$C^n_{Kt^{+p}} \downarrow,\ C^m_{An^{-q}} \downarrow$ *равновесие* → *осадок* ↑




## ПРОИЗВЕДЕНИЕ РАСТВОРИМОСТИ

$Kt_nAn_{m(к)} \leftrightarrows nKt^{+p} + mAn^{-q}$ $\qquad ПР = [Kt^{+p}]^n \cdot [An^{-q}]^m$

0,1 M 0,1 M

$Pb(NO_3)_2 + 2NaCl = PbCl_2\downarrow + 2NaNO_3$

$Pb^{2+} + 2Cl^- = PbCl_2\downarrow$ $\qquad Pb^{2+} = Cl^- = 0{,}05$ M

$C^1_{Pb^{2+}} \cdot C^2_{Cl^-} = 0{,}05 \cdot (0{,}05)^2 = 1{,}25 \cdot 10^{-4} > ПР = 1{,}7 \cdot 10^{-4}$

$C^n_{Kt^{+p}} \cdot C^m_{An^{-q}} > ПР \Longrightarrow$ *осадок выпадает*

$C^n_{Kt^{+p}} \cdot C^m_{An^{-q}} < ПР \Longrightarrow$ *осадок не выпадает*

### Смещение равновесия в растворе над осадком

*Изменение С одноименных ионов смещает равновесие и не изменяет* ПР

$C^n_{Kt^{+p}} \uparrow,\ C^m_{An^{-q}} \uparrow$ *равновесие* ← *осадок* ↓

$C^n_{Kt^{+p}} \downarrow,\ C^m_{An^{-q}} \downarrow$ *равновесие* → *осадок* ↑

*Изменение Т смещает равновесие и изменяет* ПР

$\Delta H_{р\text{-}ния} > 0$ *равновесие* → ПР ↑

$\Delta H_{р\text{-}ния} < 0$ *равновесие* ← ПР ↓

## ЭЛЕКТРОЛИТЫ

### Слабые электролиты

$CH_3COOH \leftrightarrows H^+ + CH_3COO^-$

$$K = \frac{a_{CH_3COO^-} \cdot a_{H^+}}{a_{CH_3COOH}} = \frac{[CH_3COO^-][H^+]}{[CH_3COOH]} = 1{,}8 \cdot 10^{-5}$$ *Не зависит от С электролита*

$$\alpha = \frac{\text{количество в-ва распавшегося на ионы}}{\text{количество растворенного в-ва}}$$ *Зависит от С электролита*

$$K = \frac{\alpha^2 C}{1-\alpha} \qquad \alpha^2 C + \alpha K - K = 0, \qquad \alpha << 1 \qquad K \approx \alpha^2 C \qquad \boxed{\alpha = \sqrt{\frac{K}{C}}}$$

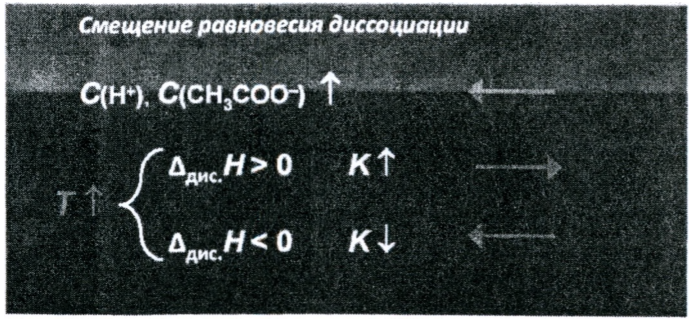
| $C$, моль/л $CH_3COOH$ | 0,1 | 0,001 | 0,00001 |
|---|---|---|---|
| $\alpha$ (*по сокр. ф-ле*) | 0,0136 | 0,136 | 1,36 |
| $\alpha$ (*по полной. ф-ле*) | 0,0133 | 0,125 | 0,716 |

## ЭЛЕКТРОЛИТЫ

### Слабые электролиты

$CH_3COOH \leftrightarrows H^+ + CH_3COO^-$ $\qquad \Delta_{дис.}H^o = -0{,}4$ кДж

$$K = \frac{a_{CH_3COO^-} \cdot a_{H^+}}{a_{CH_3COOH}} = \frac{[CH_3COO^-][H^+]}{[CH_3COOH]} = 1{,}8 \cdot 10^{-5}$$




## ЭЛЕКТРОЛИТЫ

### Слабые электролиты

$CH_3COOH \leftrightarrows H^+ + CH_3COO^-$

$$\alpha = \sqrt{\frac{K}{C}} \qquad C\downarrow\ \alpha\uparrow \qquad C\uparrow\ \alpha\downarrow$$

$$\mu = \tfrac{1}{2}([H^+]\cdot(1)^2 + [CH_3COO^-]\cdot(-1)^2) = \alpha \cdot C \to 0$$
($\alpha C$, $\alpha C$)

$\mu \to 0 \qquad f \to 1, \qquad a \approx C$

| C,моль/л $CH_3COOH$ | 0,1 | 0,01 | 0,001 |
|---|---|---|---|
| $\alpha$ | 0,013 | 0,042 | 0,125 |
| $\mu$ | 0,0013 | 0,0004 | 0,00013 |
| $f$ иона $H^+$ | 0,94 | 0,98 | 1 |

## ЭЛЕКТРОЛИТЫ

### Сильные электролиты

$HCl \rightarrow H^+ + Cl^-$

$\alpha = 1$ *K диссоциации нет*

$a \approx C$ $\qquad \underline{a = f \cdot C}$

$f$ *– коэф. активности иона* (зависит от природы раств. в-ва и ионной силы)

*ионная сила раствора* $\mu = 0{,}5 \cdot \Sigma C_i \cdot z_i^2$ ($\mu$ и $f$ в таблицах)

$\mu < 0{,}01 \qquad \lg f_i = -0{,}5 z_i^2 \sqrt{\mu}$

| C,моль/л HCl | 0,1 | 0,01 | 0,001 |
|---|---|---|---|
| $\mu$ | 0,1 | 0,01 | 0,001 |
| $f$ иона $H^+$ | 0,79 | 0,90 | 0,96 |

**Вопросы для контроля**

**1.** В 600 мл воды растворили 71,6 г кристаллогидрата $Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$. Чему равна массовая доля карбоната натрия в полученном растворе?

**2.** На нейтрализацию 25 мл однонормального раствора КОН затрачено 50 мл раствора соляной кислоты. Определить эквивалентную концентрацию (нормальность) кислоты.

**3.** Коэффициент растворимости нитрата калия при 35°С и при 75°С равен 55 и 150 соответственно. Сколько соли потребуется для приготов-ления насыщенных при этих температурах растворов массой 60 г?

**4.** Сколько мл 0,1 н. $H_3PO_4$ можно приготовить из 80 мл 0,75 н. раствора той же кислоты?

**5.** Сколько граммов кристаллогидрата $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ потребуется растворить в 250 мл воды для получения раствора с массовой долей сульфата натрия 5%?

**6.** На нейтрализацию 12 мл серной кислоты израсходовано 24 мл 0,05 н. раствора гидроксида калия. Определить эквивалентную концентрацию (нормальность) кислоты.

**7.** Определите степень диссоциации следующих растворов:

а) 0,05М $HNO_2$, б) 0,2М $CH_3COOH$.

**8.** Вычислите ионную силу и активности ионов в растворах:

а) 0,01М NaCl, б) 0,01М $Al_2(SO_4)_3$.

**9.** Используя табличные значения ПР, вычислите растворимость (S) следующих солей:

а) CuS; б) AgI; в) $PbCrO_4$; г) $Ag_2CO_3$.

**10.** Образуются ли осадки при смешивании равных объемов следующих солей:

а) 0,01 М раствора $CaCl_2$ и 0,001 М раствора $Na_2CO_3$;

б) 0,02 М раствора $Pb(NO_3)_2$ и 0,02 М раствора KI?

**11.** К раствору, содержащему 0,01 моль/л ионов $Cl^-$ и $I^-$, прибавляют по каплям раствор $Pb(NO_3)_2$. Какой осадок образуется первым и при какой концентрации $Pb(NO_3)_2$ это произойдет? Разбавлением растворов при смешивании пренебречь.

## ТЕСТ «Растворы. Концентрация»

***1. Как называют способ выражения концентрации, представляющий отношение числа молей растворенного компонента к общему числу молей компонентов, составляющих раствор?***

**1)** массовая доля; **2)** молярная концентрация;
**3)** мольная доля; **4)** моляльность.

***2. Определить массу хлора (в виде $Cl^-$-ионов), содержащегося в 1 $м^3$ морской воды, если его массовая доля равна 0,5%, а плотность $\rho = 1,09$.***

**1)** 4,6 кг; **2)** 5,45 кг; **3)** 35,5 кг; **4)** 5 кг.

***3. Сплав "альфенол", используемый в радиоэлектронике, содержит 16% алюминия и 84% железа. Определить мольную долю алюминия в этом сплаве.***

**1)** 0,538; **2)** 0,714; **3)** 0,286; **4)** 0,160.

***4. Какая масса NaOH необходима для приготовления 200 л 2 М раствора щелочи, используемой для обезжиривания поверхности металлов?***

**1)** 16 кг; **2)** 160 кг; **3)** 1600 кг; **4)** 40 кг.

***5. Раствор для "тонирования" изделий из меди имеет титр по тиосульфату натрия 0,18 г/мл. Определить его молярную концентрацию.***

**1)** 11,4 М; **2)** 1,14 М; **3)** 0,144 М; **4)** 1,8 М.

***6. "Свинцовая вода", используемая в качестве примочки при воспалительных процессах, содержит 2% $PbOHCH_3COO$ и имеет плотность 1,06. Какую массу соли нужно взять для приготовления 2 л примочки?***

**1)** 404 г; **2)** 40,4 г; **3)** 2,02 г; **4)** 202 мг.

## ТЕСТ «Растворы. Свойства»

***1. Чему равно осмотическое давление раствора глюкозы $C_6H_{12}O_6$, если в 1 л раствора содержится 360,32 г вещества при 300 К?***

**1)** 5,0 $10^6$ Па; **2)** 2,1·$10^9$ Па; **3)** 1·$10^6$ Па; **4)** 1,01·$10^8$ Па.

***2. Чему равна температура кипения раствора, содержащего 1 г нитробензола $C_6H_5NO_2$ в 10 г бензола, если $K_э$(бензола) = 2,57, а $T_{кип}$(бензола) = 80,2°С?***

**1)** 82,29°С; **2)** 2,09°С; **3)** 78,11°С; **4)** 80,2°С.

***3. Какие частицы будут в растворе, если 1 моль гидроксида калия провзаимодействует с 1 моль серной кислоты?***

**1)** $K_2SO_4$, $H_2O$; **2)** $2K^+$, $SO_4^{2-}$;
**2)** 3) $K^+$, $SO_4^{2-}$; **4)** $K^+$, $HSO_4^-$.

***4. На какие ионы диссоциирует в водном растворе бромид гидроксобария?***

**1)** $Ba^{2+}$, HBr, $O^{2-}$; **2)** $BaOH^+$, $Br^-$; **3)** $BaO^+$, HBr; **4)** $Ba^{2+}$, $OH^-$, $Br^-$.

***5. Как изменяется степень диссоциации электролита при разбавлении раствора?***

**1)** Увеличивается; **2)** Уменьшается;
**3)** Не изменяется; **4)** Нет связи.

***6. Чему равна константа диссоциации уксусной кислоты $CH_3COOH$, если степень ее диссоциации в 0,1 М раствора равна 1,32%?***

**1)** 0,00132; **2)** 0,0132; **3)** 1,74·$10^{-5}$; **4)** не диссоциирует.

***7. Чему равен водородный показатель pH 3,12% раствора HCl плотность которого 1015 кг/$м^3$ ($\alpha = 0,91$)? Ответ дать с точностью до десятых долей.***

**1)** 100,318°С; **2)** 103,18°С; **3)** 100°С; **4)** 131,8°С.

**ЗАНЯТИЕ №5**

| **Тема: «Ионное произведение воды. Гидролиз солей»** | **Дата** _____ |
|---|---|
| **ПЕРЕЧЕНЬ ИЗУЧАЕМЫХ ВОПРОСОВ**<br>1. Диссоциация молекулы воды. Ионное произведение воды. Водородный показатель (pH).<br>2. Значение pH для кислых, нейтральных и щелочных растворов.<br>3. Вычисление pH в растворах сильных и слабых кислот и оснований.<br>4. Гидролиз солей. Основные случаи гидролиза солей. Ступенчатый гидролиз.<br>5. Составление молекулярных и полных и кратких ионных уравнений реакций гидролиза.<br>6. Константа гидролиза. Степень гидролиза. Факторы, влияющие на степень гидролиза. Смещение равновесия гидролиза.<br>7. Вычисление pH в растворах солей, подвергающихся гидролизу.<br>8. Особые случаи гидролиза. Полный гидролиз, взаимный гидролиз. | **ИСТОЧНИК**<br>1. Материалы лекций<br>2. [1-3] – учебник<br>3. [4-11] |

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 8 «Ионное произведение воды. Гидролиз солей»**

**Задание**

**Определение реакции среды при гидролизе солей. Факторы, определяющие направление протекания гидролиза солей.**

**1. Определение реакции среды при гидролизе солей.**

В отдельные пробирки налейте в 1-2 мл дистиллированной воды, растворы: карбоната натрия, фосфата натрия, хлорида натрия, сульфата алюминия, хлорида алюминия(III), ацетата аммония.

В химические стаканы налейте на 1/3 дистиллированной воды и растворы: карбоната натрия, фосфата натрия, хлорида натрия, сульфата алюминия, хлорида алюминия(III), ацетата аммония.

**Методика выполнения и результаты**

**1.** а) На предметное стекло положите кусочки универсальной индикаторной бумаги. С помощью чистой стеклянной палочки смочите индикаторную бумагу раствором каждой из солей. По цвету индикаторной бумаги определите pH раствора и pH дистиллированной воды. Результаты эксперимента запишите в таблице. Напишите уравнения реакций гидролиза солей в молекулярном и ионном виде.

б) В химические стаканы налейте на 1/3 растворы солей. Определите pH при помощи pH-метра. Сравните полученные результаты

| № | Соль | pH раствора | | Реакция среды |
|---|---|---|---|---|
| | | по индикаторной бумаге | по pH-метру | |
| 1 | $H_2O$ | | | |
| 2 | $Na_2CO_3$ | | | |
| 3 | $Na_3PO_4$ | | | |
| 4 | NaCl | | | |
| 5 | $Al_2(SO_4)_3$ | | | |
| 6 | $AlCl_3$ | | | |
| 7 | $(CH_3COO)NH_4$ | | | |

| | |
|---|---|
| **2. Влияние температуры на гидролиз.** Налейте в пробирку 1-2 мл раствора ацетата натрия и прилейте к нему 1-2 капли фенолфталеина. Нагрейте раствор на водяной бане. | **2.** Реакция гидролиза эндотермический процесс, поэтому в соответствии с принципом Ле Шателье повышение температуры раствора соли увеличивает степень гидролиза. По изменению интенсивности окраски индикатора при нагревании или охлаждении раствора судят об увеличении или уменьшении концентрации ионов $OH^-$, и следовательно, об изменении степени гидролиза.<br>а) Как меняется интенсивность окраски раствора фенолфталеина?<br><br>б) Напишите уравнения гидролиза ацетата натрия в молекулярной и ионной формах. Запишите наблюдения и объясните изменение окраски фенолфталеина при нагревании. |
| **3. Влияние разбавления на гидролиз хлорида сурьмы.** | **3.** Степень гидролиза солей зависит от их природы. В случае гидролиза $SbCl_3$ идут следующие процессы:<br>1) $SbCl_3 + HOH \leftrightarrows Sb(OH)Cl_2 + HCl$<br>$Sb^{3+} + HOH \leftrightarrows Sb(OH)^{2+} + H^+$<br>2) $Sb(OH)Cl_2 + (HOH) \leftrightarrows SbOCl\downarrow + HCl$<br>$Sb(OH)^{2+} + HOH \leftrightarrows Sb(OH)_2^+ + H^+$<br>$Sb(OH)^{2+} + Cl^- \leftrightarrows SbOCl\downarrow + H^+ + H_2O$<br>В результате гидролиза по второй ступени образуется $Sb(OH)_2Cl$ – неустойчивое вещество, которое разлагается с образованием осадка оксохлорида сурьмы SbOCl. Это приводит к смещению равновесия гидролиза вправо. Поэтому растворы $SbCl_3$ можно готовить только в сильнокислой среде. |
| а) Налейте в пробирку примерно 1 мл $SbCl_3$. Добавьте к раствору $SbCl_3$ примерно 5 капель дистиллированной воды. | а) Запишите наблюдения |
| б) Добавьте в реакционную смесь 1 мл соляной кислоты (2н). | б) Запишите наблюдения |
| в) Добавьте к раствору еще 1-2 мл дистиллированной воды. | в) Запишите наблюдения и уравнения реакции гидролиза $SbCl_3$. |

| | |
|---|---|
| | Объясните причины образования и растворения осадка SbOCl. |
| **4. Взаимное усиление гидролиза (необратимый гидролиз).**<br>а) К пяти каплям раствора сульфата алюминия прибавьте 5-6 капель раствора карбоната натрия. | **4.** Гидролиз соли усиливается, если связать один из ионов, образующийся в результате гидролиза, в слабый электролит.<br>а) Докажите, что образуется осадок $Al(OH)_3$, а не $Al_2(CO_3)_3$. Для этого проверьте растворимость образовавшегося осадка в HCl (2н) и NaOH (2н). Запишите наблюдения и уравнения реакций.<br><br>б) Напишите уравнения и признаки реакций при смешивании растворов сульфата алюминия и карбоната натрия.<br><br>в) Рассчитайте, при каком значении pH начинается образование осадка $Al(OH)_3$, если концентрация $[Al^{3+}]$ в растворе равна 0,1 моль/л. |
| | Подпись преподавателя _____ |

## Гидролиз

Реакция обменного разложения между веществом и водой

От греческих hydor – вода и lysis – разложение

Является частным случаем сольволиза - взаимодействия вещества с растворителем, при котором составные части растворенного соединения соединяются с составными частями растворителя.

При гидролизе протон переходит от молекулы воды к данному иону или от данного иона к молекуле воды - частный случай кислотно-основного взаимодействия.

Взаимодействие соли с водой является реакцией обратной реакции нейтрализации, заметным образом она идет в следующих случаях:

- В состав соли входит катион слабого основания

$$NH_4NO_3 + H_2O \leftrightarrows HNO_3 + NH_4OH$$

$$NH_4^+ + H_2O \leftrightarrows H^+ + NH_4OH$$

- В состав соли входит анион слабой кислоты

$$CH_3COONa + H_2O \leftrightarrows CH_3COOH + NaOH$$

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

Для ионных соединений (солей) сущность гидролиза - поляризационное взаимодействие ионов с их гидратной оболочкой, ведущее к распаду молекул оболочки.

Суммарный эффект гидролиза определяется природой находящихся в растворе катионов и анионов (их поляризующего действия).

## Условия протекания ионных реакций

**Общее условие:** ионные равновесия смещены в сторону связывания ионов (осадок, газ, слабый электролит, комплекс)

$BaCl_2 + H_2SO_4 = BaSO_4\downarrow + 2HCl$, $Ba^{2+} + SO_4^{2-} = BaSO_4\downarrow$

$ZnCl_2 + H_2SO_4 = (ZnSO_4 + 2HCl)$, $0 = 0$ Реакция не идет

$FeS + H_2SO_4 = FeSO_4 + H_2S\uparrow$, $FeS + 2H^+ = Fe^{2+} + H_2S\uparrow$

$HgS\downarrow + H_2SO_4 = (HgSO_4 + H_2S\uparrow)$, реакция не идет - HgS слишком плохо растворим

$AgCl + 2NH_3 \rightarrow [Ag(NH_3)_2]Cl$ $NH_3$ связывает ионы $Ag^+$ сильнее, чем это делает $Cl^-$

$AgI + 2NH_3 = ([Ag(NH_3)_2]I)$, реакция не идет, так как $I^-$ связывает ионы $Ag^+$ сильнее, чем это делает $NH_3$

### СТЕПЕНЬ ГИДРОЛИЗА

$$h = \frac{\nu_{\text{гидролиз. ионов}}}{\nu_{\text{общее к-во ионов}}}$$

$$K_г = \frac{h^2 C_{иона}}{1-h} \quad h \ll 1 \quad K_г = h^2 C_{иона} \quad h = \sqrt{\frac{K_г}{C_{иона}}}$$

| Зависимость h от $C_{иона}$ | | | |
|---|---|---|---|
| | $C_{иона}\uparrow$ | $K_г$ const | $h\downarrow$ |
| | $C_{иона}\downarrow$ | $K_г$ const | $h\uparrow$ |

| Зависимость h от T | | | |
|---|---|---|---|
| $K_г = \frac{K_в \rightarrow \Delta H \approx 60$ кДж$}{K_{кисл.(осн.)} \rightarrow \Delta H \approx -10 \div +10$ кДж$}$ | $T\uparrow$ | $K_г\uparrow$ | $h\uparrow$ |
| | $T\downarrow$ | $K_г\downarrow$ | $h\downarrow$ |

## Константа гидролиза

MA - соль  HA - кислота  MOH - основание

Реакция гидролиза

$MA + H_2O \leftrightarrows HA + MOH$

$$K = \frac{[HA][MOH]}{[MA][H_2O]}$$

Константа реакции

$$K_h \equiv K[H_2O]$$

Соль диссоциирует практически нацело

$M^+ + A^- + H_2O \leftrightarrows HA + MOH$

$$K_h = \frac{[HA][MOH]}{[MA]}$$

Константа гидролиза

При одинаковой температуре и концентрации соли ее гидролиз протекает тем в большей степени, чем больше величина $K_h$.

## Многоосновные кислоты

Три последовательные ступени диссоциации ортофосфорной кислоты:

$H_3PO_4(aq.) + H_2O(ж.) \leftrightarrows H_2PO_4^-(aq.) + H_3O^+(aq.)$  $pK_{a1} = 2.12$

$H_2PO_4^-(aq.) + H_2O(ж.) \leftrightarrows HPO_4^{2-}(aq.) + H_3O^+(aq.)$  $pK_{a2} = 7.21$

$HPO_4^{2-}(aq.) + H_2O(ж.) \leftrightarrows PO_4^{3-}(aq.) + H_3O^+(aq.)$  $pK_{a3} = 12.67$

## Водородный показатель

Водородный показатель

По определению:

$$pH = -\lg[H_3O^+] \equiv -\lg[H^+]$$

| | | |
|---|---|---|
| Нейтральный раствор | $[H^+] = 10^{-7}$ *моль/л* | pH = 7 |
| Кислый раствор | $[H^+] > 10^{-7}$ *моль/л* | pH < 7 |
| Щелочной раствор | $[H^+] < 10^{-7}$ *моль/л* | pH > 7 |

В нейтральном растворе концентрации ионов водорода $H^+$ и гидроксид-ионов $OH^-$ :
$[H^+] = [OH^-] = 10^{-7}$ *моль/л* при 25° C

Для воды и разбавленных водных растворов произведение $[H^+][OH^-] = K_w$ есть величина постоянная.

$pK_w = 14.00$ (25°C)

$pK_w = 12.26$ (100°C)

| Тип соли | Пример | Ион, реагирующий с водой | pH раствора |
|---|---|---|---|
| Катион – из сильного основания, анион – из сильной кислоты | NaCl, $KNO_3$ | Нет | ≈ 7 |
| Катион – из слабого основания, анион – из сильной кислоты | $NH_4Cl$, $Fe_2(SO_4)_3$ | Катион (гидратированный катион) | < 7 |
| Катион – из сильного основания, анион – из слабой кислоты | KCN, $Na_2CO_3$ | Анион | > 7 |
| Катион – из слабого основания, анион – из слабой кислоты | $(NH_4)_2CO_3$ | Катион и анион | < 7, $K_a > K_b$<br>> 7, $K_a < K_b$ |

## Вопросы для контроля

**1.** Напишите уравнения диссоциации и вычислите pOH и pH в растворах:
а) 0,005 М раствор $Ca(OH)_2$; б) 0,05 М раствор NaOH;
в) 0,002 М раствор HCl; г) 0,1 М раствор $HClO_4$.

**2.** Напишите уравнения диссоциации и вычислите степень диссоциации ($\alpha$), $[H^+]$ или $[OH^-]$ и pH в растворах слабых кислот и оснований, учитывая только первую ступень диссоциации:
а) 0,05 М раствор $H_2SO_3$; б) 0,01 М раствор $NH_4OH$;
в) 0,2 М раствор HClO; г) 0,1 М раствор $H_2S$;
д) 0,02 М раствор $HNO_2$.

**3.** Напишите уравнения диссоциации и вычислите pH в растворах, содержащих слабый и сильный электролит:
а) 0,01 моль HF и 0,05 моль NaF;
б) 0,05 моль $NH_4OH$ и 0,5 моль $NH_4Cl$;
в) 0,2 моль $CH_3COOH$ и 0,2 моль $CH_3COONa$.

**4.** Как изменится pH растворов:
а) если к 100 мл 0,04 М раствора $NH_4OH$ прибавить 100 мл 0.2 М раствора $NH_4Cl$; б) если к 50 мл 0,1 М раствора $HNO_2$ прибавить 450 мл 0.2 М раствора $NaNO_2$?

**5.** Напишите молекулярные и ионные уравнения первой ступени гидролиза и укажите pH для следующих солей:
а) NaCN и $CuSO_4$; б) $K_2CO_3$ и $AlCl_3$;
в) $Na_3PO_4$ и $Ba(NO_3)_2$; г) $NH_4F$ и $Fe_2(SO_4)_3$ .

**6.** Напишите уравнения реакций гидролиза и укажите, какие внешние воздействия усиливают гидролиз солей – $Na_2SiO_3$, $Zn(NO_3)_2$, $CH_3COONH_4$; подавляют (уменьшают) гидролиз солей – $FeCl_3$, $Na_2S$, $NH_4NO_2$.

**7.** Напишите молекулярные и ионные уравнения первой ступени гидролиза и вычислите константу гидролиза ($K_г$), степень гидролиза (h) и pH в растворах следующих солей:
а) 0,1 М раствор NaHS; б) 0,05 М раствор $NH_4NO_3$;
в) 0,05 М раствор $K_2SO_3$; г) раствор $NH_4CN$;
д) 0,02 М раствор $Na_2HPO_4$.

**8.** Напишите уравнения реакций взаимодействия растворов солей: $AlCl_3$ с $K_2CO_3$ и $FeCl_3$ с $Na_2S$. Какие вещества образуются в результате реакций и почему?

**9.** Определите pH в растворе образующемся после прибавления 50 мл 0,2 М раствора $H_2SO_4$ к 150 мл 0,1 М раствора NaOH.

## ТЕСТ «Гидролиз солей»

*1. Какое ионное уравнение соответствует молекулярному:*

$MgOHCl + NaOH = Mg(OH)_2 + NaCl$?

**1)** $Mg_2+ + 2OH^{--} = Mg(OH)_2$ **2)** $Mg(OH)^+ + OH^{--} = Mg(OH)_2$
**3)** $Cl^{--} + Na^+ = NaCl$ **4)** $Mg^{2+} + OH^{--} + Cl^{--} = MgOHCl$

*2. Какая соль гидролизуется по катиону ступенчато?*

**1)** $K_2SO_3$ **2)** $Cr(NO_3)_3$ **3)** NaCl **4)** CaS

*3. В каком случае при растворении двух солей происходит взаимное усиление их гидролиза?*

**1)** $FeCl_3$, $Na_2SO_4$ **2)** $Al(NO_3)_3$, $ZnCl_2$ **3)** NaCl, $Na_2SO_4$

*4. Какое выражение соответствует константе гидролиза соли KCN?*

**1)** $K_Г = \frac{C(HCN)C(OH^-)}{C(CN^-)C(H_2O)}$ **2)** $K_Г = \frac{C(HCN)C(OH^-)}{}$

**3)** $K_Г = \frac{C(CN^-)C(OH^-)}{C(HCN)}$ **4)** $K_Г = \frac{Ch^2}{(1-h)}$

*5. Присутствие какого реактива понижает степень гидролиза нитрата хрома?*

**1)** $H_2O$ **2)** NaOH **3)** $HNO_3$ **4)** $NaNO_3$

*6. Какое ионное уравнение соответствует молекулярному:*

$KHCO_3 + HCl = KCl + CO_2 + H_2O$?

**1)** $K^+ + Cl^{--} = KCl$ **2)** $HCO_3^{--} + H^+ = CO_2 + H_2O$
**3)** $CO_3^{2-} + 2H^+ = CO_2 + H_2O$ **4)** $HCO_3^{--} + Cl^{--} = HCl + CO_3^{2-}$

*7. Раствор какой соли имеет нейтральную среду?*

**1)** $NH_4Cl$ **2)** $Al(NO_3)_3$ **3)** $CuCl_2$ **4)** $K_2SO_4$

*8. В какой из реакций возможно образование гидроксида алюминия?*

**1)** $AlCl + NaOH_{(изб.)} =$ **2)** $AlCl_3 + Na_2S + H_2O =$
**3)** $AlCl_3 + CuSO_4 + H_2O =$ **4)** $AlCl_3 + NaNO_3 + H_2O =$

*9. Оценить, у какой из солей константа гидролиза больше, если даны константы диссоциации кислот:* CHCOOH ($1,8 \cdot 10^{-5}$), HCN ($5,0 \cdot 10^{-10}$), HCOOH ($2,0 \cdot 10^{-4}$), HF ($6,2 \cdot 10^{-4}$).

**1)** HCOOK **2)** CHCOOK **3)** KCN **4)** KF

*10. Степень гидролиза какой соли увеличивается при добавлении в ее раствор серной кислоты?*

**1)** $K_2SiO_3$ **2)** $Cu(NO_3)_2$ **3)** $ZnCl_2$ **4)** $Rb_2SO$

*11. Гидролиз какой соли приводит к образованию в растворе щелочной среды?*

**1)** $Ni(NO_3)_2$ **2)** $KMnO_4$ **3)** $Na_2SO_4$ **4)** KOH

*12. Какой продукт образуется при смешивании растворов нитрата хрома и силиката калия?*

**1)** $KNO_3$ **2)** $Cr(OH)_3$ **3)** $Cr_2(SiO_3)_3$ **4)** KOH

*13. Чему равна константа гидролиза гипохлорида калия, если константа диссоциации хлорноватистой кислоты равна $3 \cdot 10^{-8}$?*

**1)** $3,3 \cdot 10^{-7}$ **2)** $3,3 \cdot 10^{-6}$ **3)** $3 \cdot 10^{-8}$ **4)** $3 \cdot 10^{-22}$

*14. У какой соли степень гидролиза уменьшается при добавлении в ее раствор гидроксида натрия?*

**1)** $CrCl_3$ **2)** $Cu(NO_3)_2$ **3)** $Na_2SO_4$ **4)** $K_2SO_3$

*15. Раствор какой соли имеет нейтральную среду?*

**1)** $NH_4Cl$ **2)** $Al(NO_3)_3$ **3)** $CuCl_2$ **4)** $K_2SO_4$

*16. Степень гидролиза какой соли увеличивается при добавлении в ее раствор серной кислоты?*

**1)** $K_2SiO_3$ **2)** $Cu(NO_3)_2$ **3)** $ZnCl_2$ **4)** $Rb_2SO_4$

*17. Присутствие какого реактива повышает степень гидролиза нитрата хрома?*

**1)** $H_2O$ **2)** NaOH **3)** $HNO_3$ **4)** $NaNO_3$

*18. Раствор какой соли имеет кислую среду?*

**1)** KCN **2)** $(NH_4)_2S$ **3)** $FeCl_3$ **4)** $Ba(NO_3)_2$

## ИТОГОВОЕ ЗАНЯТИЕ № 2

| Тема: «Растворы. Электролитическая диссоциация. Реакции ионного обмена» | Дата _____ |
|---|---|

**1.** Определите массовую долю $Ca(NO_3)_2$ в растворе, полученном смешиванием 300 г 10%-го и 500 г 2%-го раствора нитрата кальция.

**2.** Вычислите, какой объем раствора серной кислоты с массовой долей $H_2SO_4$ 11,6% (плотность 1,08) и какой объем воды требуется для приготовления 250 мл децимолярного раствора серной кислоты.

**3.** Какой объем раствора аммиака с массовой долей NH3 23% и плотностью 0,916 требуется для реакции с 0,75 л шестимолярного раствора соляной кислоты? Какое вещество образуется в реакции и чему равна его масса?

**4.** При растворении в воде 10 г безводного хлорида кальция выделяется 6,82 кДж, а при растворении 10 г кристаллогидрата $CaCl_2 \cdot 6H_2O$ поглощается 0,87 кДж. Вычислите энтальпию гидратации хлорида кальция.

**5.** При температуре 20°С в 50 мл воды растворяется 0,003 моль нитрата цинка. Определите коэффициент растворимости этой соли.

**6.** При охлаждении насыщенного при 100°С раствора нитрата натрия до 20°С выделилось 120 г $NaNO_3$. Определите, какой была масса раствора и содержание в нем воды и соли, если коэффициент растворимости $NaNO_3$ при указанных температурах равен 176 и 88.

**7.** Давление пара воды при 80°С равно 47375 Па, а давление пара раствора неэлектролита при этой же температуре – 33310 Па. Какое количество воды приходится на один моль растворенного вещества в этом растворе?

**8.** Раствор 9,2 г йода в 100 г метанола закипает при 65,0°С, а чистый метанол кипит при 64,7°С. Из скольких атомов состоит молекула йода в растворе метанола? Эбуллиоскопическая постоянная метанола равна 0,84.

**9.** Какими условиями определяется возможность электролитической диссоциации вещества? Какая величина характеризует ионизирующую способность растворителя, чему равна эта величина для воды, спирта, бензола, жидкого фтороводорода?

**10.** Объясните, почему водный раствор хлорида натрия проводит электрический ток, а спиртовый раствор этого же вещества при той же концентрации и температуре практически не электропроводен?

**11.** Вычислите степень электролитической диссоциации циановодородной кислоты HCN в одномолярном растворе и изотонический коэффициент раствора. Константа диссоциации кислоты равна $4{,}9 \cdot 10^{-10}$.

**12.** Какое свойство воды характеризуется ее ионным произведением? Чему равно значение KW при 22°С и почему оно остается постоянным при растворении в воде кислоты или щелочи?

**13.** Как вычисляются водородный и гидроксильный показатели раствора? Как связана среда раствора с концентрацией ионов водорода, с водородным и гидроксильным показателями?

**14.** Произведение растворимости гидроксида цинка равно $4{,}0 \cdot 10^{-16}$. Чему равны концентрации ионов $Zn^{2+}$ и $OH^-$ в насыщенном растворе этого вещества?

**15.** Что является причиной гидролиза солей?

**16.** Объясните гидролиз с позиций химической термодинамики.

**17.** Объясните гидролиз с позиций строения вещества. Как зависит гидролиз соли от радиуса, заряда, поляризующего действия и поляризуемости катиона и аниона?

**18.** Объясните механизм гидролиза солей, учитывая, что в водном растворе содержатся гидратированные ионы. За счет образования и разрыва каких связей идет процесс гидролиза?

**ЗАНЯТИЕ №6**

| **Тема: «Окислительно-восстановительные реакции»** | **Дата** _____ |
|---|---|
| **ПЕРЕЧЕНЬ ИЗУЧАЕМЫХ ВОПРОСОВ**<br>1. Типы окислительно-восстановительных реакций.<br>2. Типичные окислители и типичные восстановители.<br>3. Методы составления окислительно-восстановительных реакций. Метод полуреакций или метод ионно-электронного баланса.<br>4. Факторы, влияющие на протекание окислительно-восстановительных реакций.<br>5. Стандартный окислительно-восстановительный потенциал. Изменение окислительно-восстановительного потенциала. Уравнение Нернста.<br>6. Направление окислительно-восстановительной реакции. ЭДС реакции. | **ИСТОЧНИК**<br>1. Материалы лекций<br>2. [1-3] – учебник<br>3. [4-11] |

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 9 «Изучение окислительно-восстановительных реакций, протекающих в водных растворах»**

| **Задание** | **Методика выполнения и результаты** |
|---|---|
| **Изучить методы составления окислительно-восстановительных реакций. Метод полуреакций и (или) метод ионно-электронного баланса.**<br>**1. Окисление иона $Cr^{3+}$ до высшей степени окисления.**<br>К 6-8 каплям раствора $Cr(NO_3)_3$ прибавьте по каплям раствор NaOH до растворения образующегося осадка $Cr(OH)_3$ и затем 3-4 капли 3% раствора $H_2O_2$. Смесь перемешайте и, при необходимости, нагрейте на водяной бане или горелке в течение 1-2 мин. | **1.** Окрашивание раствора в желтый цвет свидетельствует об образовании иона $CrO_4^{2-}$. Расставьте коэффициенты в уравнении реакции методом полуреакций и сделайте вывод.<br>$Cr(NO_3)_3 + NaOH + H_2O_2 \rightarrow Na_2CrO_4 + NaNO_3 + H_2O$ |
| **2. Окислительные и восстанови-тельные свойства пероксида водорода.**<br>а) К 3 каплям раствора KI прибавьте 2 капли 2н раствора $H_2SO_4$ и затем по каплям 3%-го раствора $H_2O_2$ до появления желтой окраски. | **2.** а) Для обнаружения $I_2$ в растворе прибавьте к нему несколько капель крахмала и встряхните пробирку. Расставьте коэффициенты в уравнении реакции методом полуреакций и сделайте вывод.<br>$KI + H_2O_2 + H_2SO_4 \rightarrow I_2 + K_2SO_4 + H_2O$ |

| | |
|---|---|
| б) К 5-6 каплям раствора $KMnO_4$ прибавьте 3-4 капли 2н раствора $H_2SO_4$ и затем несколько капель 3%-го раствора $H_2O_2$. Наблюдается обесцвечивание раствора и выделение газа. | б) Испытайте выделяющийся газ тлеющей лучинкой. Расставьте коэффициенты в уравнении реакции методом полуреакций и сделайте вывод.<br>$KMnO_4 + H_2SO_4 + H_2O_2 \rightarrow MnSO_4 + O_2 + K_2SO_4 + H_2O$ |
| **3. Окислительные свойства перманганата калия в различных средах.**<br>В три пробирки налейте по 5-6 капель раствора $KMnO_4$. Затем в первую пробирку прибавьте 3-4 капли 2н раствора $H_2SO_4$, во вторую – ничего, а в третью – 3-4 капли 2н раствора NaOH. После этого в каждую пробирку прибавьте по каплям раствор $Na_2SO_3$ или сухую соль. | **3.** Наблюдайте изменение окраски растворов. Расставьте коэффициенты в уравнениях реакций методом полуреакций и сделайте выводы об окислительных свойствах перманганата калия.<br>а) $KMnO_4 + H_2SO_4 + Na_2SO_3 \rightarrow MnSO_4 + Na_2SO_4 + K_2SO_4 + H_2O$<br>б) $KMnO_4 + H_2O + Na_2SO_3 \rightarrow MnO_2 + Na_2SO_4 + KOH$<br>в) $KMnO_4 + KOH + Na_2SO_3 \rightarrow K_2MnO_4 + Na_2SO_4 + H_2O$ |
| | Подпись преподавателя _____ |

## Реакции с изменением степени окисления элементов (ОВР)

Окислитель - принимает электрона

Восстановление - присоединение электрона

Окислитель: принимает $e^-$ (восстанавливается)

восстановитель: отдаёт $e^-$ (окисляется)

$$\overset{+2}{Mg}O(тв.) + \overset{0}{C}(тв.) \rightarrow \overset{0}{Mg}(ж.) + \overset{+2}{C}O(г.)$$

Восстановление магния из оксида углеродом

$A(г.) \rightarrow A^+(г.) + e^-(г.)$ ионизация

$A^+(г.) + e^-(г.) \rightarrow A(г.)$ рекомбинация

$A(г.) + e^-(г.) \rightarrow A^-(г.)$ ионизация

Правила написания окислительно-восстановительных реакций

$ZnS(к) + Cl_2(г) + H_2O \rightarrow ZnSO_4 + HCl$

$ZnS + 4H_2O - 8e = SO_4^{2-} + Zn^{2+} + 8H^+$ 1

$Cl_2 + 2e^- = 2Cl^-$ 4

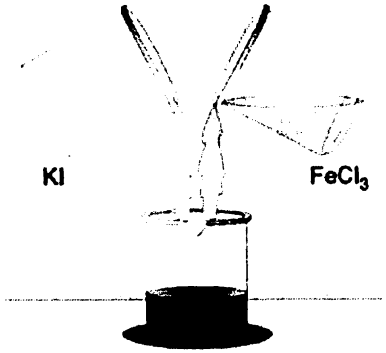
$ZnS + 4Cl_2 + 4H_2O = SO_4^{2-} + Zn^{2+} + 8H^+ + 8Cl^-$

$ZnS + 4Cl_2 + 4H_2O = ZnSO_4 + 8HCl$

1) Сильные электролиты записывают в виде ионов, слабые электролиты, газы, чистые жидкие и кристаллические вещества (осадки) в виде молекул.
2) В *кислой* среде ни в левой, ни в правой части полуреакции не записывают ионы $OH^-$.
3) В *щелочной* среде ни в левой, ни в правой части полуреакции не записывают ионы $H^+$.
4) В *нейтральной* среде в *левой* части полуреакции не записывают ни ионов $H^+$, ни $OH^-$. В *правой* части полуреакции могут быть записаны как ионы $H^+$, так и ионы $OH^-$.

## ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ РЕАКЦИИ (ОВР)

**ОВР - реакции обмена электронами между атомами, молекулами, ионами.**




$KI + FeCl_3 \rightarrow I_2 + FeCl_2 + KCl$

$2I^- - 2e^- = I_2$ 1

$Fe^{3+} + e^- = Fe^{2+}$ 2

$2I^- + 2Fe^{3+} = I_2 + 2Fe^{2+}$

$2KI + 2FeCl_3 = I_2 + 2FeCl_2 + 6KCl$

## Подбор коэффициентов: Метод электронно-ионного баланса

Уравниваем в полуреакциях, используя ионы $H^+$ и воду:

$MnO_4^- + 8H^+ \rightarrow Mn^{2+} + 4H_2O$ атомы кислорода окислителя связываются

$SO_3^{2-} + H_2O \rightarrow SO_4^{2-} + 2H^+$ атомы кислорода восстановителя берутся

Уравниваем , добавляя нужное число электронов:

| | |
|---|---|
| 2× | $MnO_4^- + 8H^+ + 5e = Mn^{2+} + 4H_2O$ |
| 5× | $SO_3^{2-} + H_2O - 2e = SO_4^{2-} + 2H^+$ |
| | $5SO_3^{2-} + 2MnO_4^- + 6H^+ = 5SO_4^{2-} + 2Mn^{2+} + 3H_2O$ |

Окончательно в молекулярном виде

$5Na_2SO_3 + 2KMnO_4 + 3H_2SO_4 = 5Na_2SO_4 + 2MnSO_4 + K_2SO_4 + 3H_2O$

## Вопросы для контроля

**1.** Какие из приведенных ниже веществ проявляют: только окислительные, только восстановительные, окислительные и восстановительные свойства?

$H_2SO_3$, Zn, KI, $KMnO_4$, $NaNO_2$, $K_2Cr_2O_7$, $FeSO_4$, $HNO_3$, $H_2S$, $Cl_2$, $H_2O_2$, $K_2SO_3$, $H_2SO_4$(конц.).

**2.** Составить уравнения полуреакций окисления или восстановления с учетом кислотности среды:

| а) кислая среда | б) нейтральная среда | в) щелочная среда |
|---|---|---|
| $NO_3^- \rightarrow NO_2$ | $NO_2^- \rightarrow NO_3^-$ | $CrO_2^- \rightarrow CrO_4^{2-}$ |
| $MnO_4^- \rightarrow Mn^{2+}$ | $MnO_4^- \rightarrow MnO_2$ | $NO_3^- \rightarrow NH_3$ |
| $Cr^{3+} \rightarrow Cr_2O_7^{2-}$ | $SO_3^{2-} \rightarrow SO_4^{2-}$ | $Mn(OH)_2 \rightarrow MnO_2$ |

**3.** Закончите уравнения реакций, в которых окислителем является концентрированная азотная кислота:

$C + HNO_3 \rightarrow$ $Hg + HNO_3 \rightarrow$

$P + HNO_3 \rightarrow$ $CuS + HNO_3 \rightarrow CuSO_4 +$

**4.** Закончите уравнения реакций, в которых окислителем является концентрированная серная кислота:

$HBr + H_2SO_4 \rightarrow$ $Cu + H_2SO_4 \rightarrow$

$S + H_2SO_4 \rightarrow$ $Mg + H_2SO_4 \rightarrow$

**5.** Закончите уравнения реакций:

$Mn(OH)_2 + Cl_2 + KOH \rightarrow MnO_2 +$ $MgSO_4 + Hg \rightarrow$

$Zn + CuSO_4 \rightarrow$ $FeSO_4 + Br_2 + H_2SO_4 \rightarrow$

$KCl + Fe_2(SO_4)_3 \rightarrow$ $FeCl_3 + H_2S \rightarrow$

**6.** После нагревания 22,12 г перманганата калия образовалось 21,16 г твердой смеси. Какой максимальный объем хлора (н.у.) можно получить при действии на образовавшуюся смесь 36.5% соляной кислоты (плотность 1.18 г/мл)?

**7.** Газ, полученный при обжиге пирита, растворили в воде. К раствору прилили по каплям бромную воду до прекращения обесцвечивания брома, а затем избыток раствора хлорида бария. Отфильтрованный и высушенный осадок имел массу 116,5 г. Определите массу (г) пирита.

## ТЕСТ «Окислительно-восстановительные реакции»

***1. В каком соединении степень окисления азота равна +5?***

**1)** $N_2O_3$ **2)** $Ca(NO_3)_2$ **3)** $Ba(NO_2)_2$ **4)** $N_2H_4$

***2. Какое вещество может быть только окислителем?***

**1)** $F_2$ **2)** $NH_3$ **3)** $KNO_2$ **4)** $CaH_2$

***3. Какая из данных реакций относится к окислительно-восстановительным?***

**1)** $ZnO + 2HNO_3 = Zn(NO_3)_2 + H_2O$
**2)** $Zn + H_2SO_4 = ZnSO_4 + H_2$
**3)** $ZnCl_2 + 4NH_3 = [Zn(NH_3)_4]Cl_2$
**4)** $Zn(OH)_2 + 2NaOH = Na_2ZnO_2 + 2H_2O$

***4. Определите тип окислительно-восстановительной реакции***

$$H_2S + KMnO_4 + H_2SO_4 \rightarrow S + MnSO_4 + K_2SO_4 + H_2O.$$

**1)** межмолекулярная **2)** внутримолекулярная
**3)** диспропорционирование **4)** конпропорционирование

***5. В каком соединении степень окисления фосфора равна +5?***

**1)** $H_3PO_3$ **2)** $MgHPO_2$ **3)** $HPO_3$ **4)** $H_3PO_2$

***6. Какое вещество может быть только восстановителем?***

**1)** $Ca(NO_2)_2$ **2)** $Mn(OH)_4$ **3)** $PH_3$ **4)** $H_2SO_4$

***7. Определите тип окислительно-восстановительной реакции***

$$Pb(NO_3)_2 \rightarrow PbO + NO_2 + O_2$$

**1)** внутримолекулярная **2)** межмолекулярная
**3)** диспропорционирование **4)** конпропорционирование

***8. Уравняйте реакцию. В ответе укажите сумму всех коэффициентов у продуктов реакции:***

$$FeSO_4 + HNO_3 + H_2SO_4 \rightarrow Fe_2(SO_4)_3 + NO + H_2O$$

***9. В каком соединении степень окисления йода равна +5?***

**1)** $KIO_3$ **2)** $PI_5$ **3)** $HIO_4$ **4)** $Ca(IO_4)_2$

***10. Какое вещество может быть только восстановителем?***

**1)** $HNO_2$ **2)** Al **3)** NO **4)** $MnO_2$

***11. Какая из данных реакций относится к окислительно-восстановительным?***

**1)** $Fe_2O_3 + Na_2CO_3 = 2NaFeO_2 + CO_2$
**2)** $Fe_2O_3 + 6HCl = 2FeCl_3 + 3H_2O$
**3)** $Fe_2O_3 + CO = FeO + CO_2$
**4)** $Fe_2O_3 + 2KOH = 2KFeO_2 + H_2O$

***12. В каком соединении степень окисления йода равна +7?***

**1)** $NaIO_3$ **2)** $IF_3$ **3)** $H_5IO_6$ **4)** $Ba(IO)_2$

***13. Какое вещество проявляет окислительно-восстановительную двойственность?***

**1)** $KNO_2$ **2)** MgO **3)** $SO_3$ **4)** $H_2S$

***14. К какому типу относится окислительно-восстановительная реакция:***

$$Se + KOH \rightarrow K_2SeO_3 + K_2Se + H_2O$$

**1)** внутримолекулярная **2)** межмолекулярная
**3)** диспропорционирования **4)** конпропорционирования

***15. Уравняйте реакцию. В ответе укажите сумму всех коэффициентов у исходных веществ:***

$$Na_2SO_3 + KMnO_4 + H_2SO_4 \rightarrow Na_2SO_4 + MnSO_4 + K_2SO_4 + H_2O$$

***16. В каком соединении степень окисления азота равна +1?***

**1)** NO **2)** $H_3N$ **3)** $NF_3$ **4)** $N_2O$

***17. Какое вещество может быть только окислителем?***

**1)** $CrO_3$ **2)** $Cr_2O_3$ **3)** $Cr(OH)_3$ **4)** CrO

***18. К какому типу относится данная окислительно-восстановительная реакция:***

$$H_2O_2 \rightarrow H_2O + O_2$$

**1)** межмолекулярная **2)** внутримолекулярная
**3)** диспропорционирования **4)** конпропорционирования

***19. Какое вещество может проявлять окислительно-восстановительную двойственность?***

**1)** Sn **2)** $K_2MnO_4$ **3)** $Bi(NO_3)_3$ **4)** NaCl

**ЗАНЯТИЕ №7**

| **Тема: «Электрохимия»** | **Дата** _____ |
|---|---|
| **ПЕРЕЧЕНЬ ИЗУЧАЕМЫХ ВОПРОСОВ**<br>1. Возникновение скачка потенциала на границах раздела металл - вода, металл - раствор соли металла.<br>2. Стандартный водородный электрод.<br>3. Понятие о гальванических элементах и процессах, протекающих на электродах.<br>4. Стандартные электродные потенциалы металлов. Ряд стандартных электродных потенциалов. Уравнение Нернста.<br>5. Химические и концентрационные гальванические элементы. Электродвижущая сила (ЭДС) гальванических элементов.<br>6. Процессы, протекающие на электродах при работе гальванического элемента. Порядок разрядки веществ на катоде и аноде.<br>7. Разница протекания процесса электролиза с инертным и активным анодом.<br>8. Виды коррозии. Механизмы коррозионных процессов. Химическая коррозия (газовая, жидкостная). Электрохимическая коррозия (гальванокоррозия, электрокоррозия).<br>9. Коррозионные процессы на аноде и катоде гальванопары. Кислородная деполяризация. Водородная деполяризация.<br>10. Методы защиты от коррозии. | **ИСТОЧНИК**<br>1. Материалы лекций<br>2. [1-3] – учебник<br>3. [4-11] |

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 10 «Гальванические элементы»

**Задание**

**Изучить устройства и принципы работы гальванических элементов и процессы, которые при этом происходят.**

**1. Определение величины стандартного электродного потенциала цинка.**

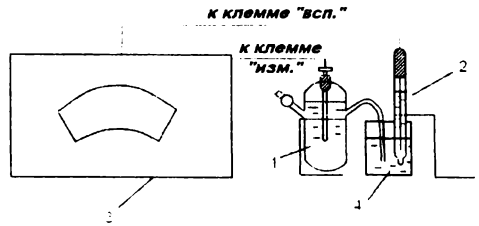
Соберите цинковый электрод ($Zn|ZnSO_4$), погрузив хорошо зачищенный наждачной бумагой цинковый стержень в раствор соли цинка с концентрацией ионов цинка 1М.

**Методика выполнения и результаты**

**1.** Определите ЭДС составленного гальванического электрода:

$ЭДС_{эксп.}$(–) $Zn|ZnSO_4||KCl|AgCl|Ag$ (+).

| Название | Условная запись | Значение |
|---|---|---|
| Экспериментальное значение ЭДС гальванического элемента. | ЭДС эксп. (–) $Zn\|ZnSO_4\|\|KCl\|AgCl\|Ag$ (+) | |
| Экспериментальное значение потенциала цинкового электрода по насыщенному хлорсеребряному электроду. | $E_{эксп.}(Zn^{+2}/Zn^0)$ по хлорсеребряному насыщ. | |
| Табличное значение потенциала насыщенного хлорсеребряного электрода сравнения по отношению к стандартному водородному электроду. | $E_{хл.сер.\ нас}$ | +0,201В |
| Экспериментальное значение потенциала цинкового электрода по стандартному водородному электроду. | $E_{эксп.}(Zn^{+2}/Zn^0)$ | |
| Теоретическое значение потенциала стандартного цинкового электрода по стандартному водородному электроду. | $E^0_{теор.}(Zn^{+2}/Zn^0)$. | – 0,76 В |




*1 – исследуемый электрод (цинковый, медный и др.) 2 – хлорсеребряный электрод сравнения, 3 – потенциометр, 4 – стаканчик насыщенным раствором хлорида калия*

***Рисунок 1 – Схема установки для определения величины электродного потенциала металла***

В соответствии с рисунком соберите гальванический элемент, составленный из исследуемого цинкового электрода ($Zn|ZnSO_4$) и насыщенного хлорсеребряного электрода сравнения ($Ag|AgCl|KCl$).

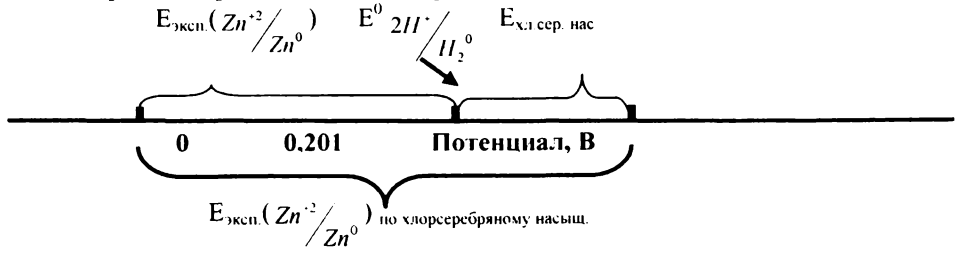
**2. Определение величины стандартного электродного потенциала меди.**

Аналогично п. 1 соберите стандартный медный электрод, погрузив зачищенный медный стержень в 1 М раствор сульфата меди.

Составьте гальванический элемент из исследуемого медного электрода и насыщенного хлорсеребряного электрода сравнения:

$$(-)\ Cu|CuSO_4||KCl|AgCl|Ag\ (+)$$

Для наглядного представления о величине потенциала одного электрода по отношению к другому удобно нарисовать шкалу, на которой следует отметить величины электродных потенциалов для рассматриваемых электродов, например:




**2.** Определите экспериментальное значение ЭДС данного гальванического элемента

$$Э.Д.С._{эксп.}\ (Cu|CuSO_4||KCl|AgCl|Ag).$$

| Название | Условная запись | Значение |
|---|---|---|
| Экспериментальное значение ЭДС гальванического элемента из исследуемого медного электрода и насыщенного хлорсеребряного электрода сравнения. | $ЭДС_{эксп.}$ (-) $Cu\|CuSO_4\|\|KCl\|AgCl\|Ag$ (+) | |
| Экспериментальное значение потенциала медного электрода по насыщенному хлорсеребряному электроду. | $E_{эксп.}(Cu^{+2}/Cu^0)$ по хлорсеребряному насыщ. | |
| Табличное значение потенциала насыщенного хлорсеребряного электрода сравнения по отношению к стандартному водородному электроду | $E_{хл.сер.\ насыщ.}$ | |
| Экспериментальное значение потенциала медного электрода по стандартному водородному электроду. | $E_{эксп.}(Cu^{+2}/Cu^0)$ | |
| Теоретическое значение потенциала стандартного цинкового электрода по стандартному водородному электроду. | $E^0_{теор}(Zn^{+2}/Zn^0)$. | |

**3. Определение ЭДС химического гальванического элемента.** ***(Медно–цинковый гальванический элемент)***

В соответствии со схемой, представленной на рисунке, соберите установку для определения ЭДС гальванического элемента, составленного из цинкового и медного электродов при стандартных условиях.

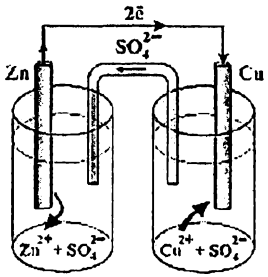



***Схема установки для определения ЭДС химического гальванического элемента***

**4. Определение ЭДС химического концентрационного гальванического элемента.**

Аналогично п. 3 соберите установку для определения ЭДС гальванического элемента, составленного из цинковых электродов при концентрации растворов 0,01М и 1М.

**3.** Определите ЭДС данного гальванического элемента

$$Э.Д.С.(Cu|CuSO_4||Zn|ZnSO_4)_{эксп.}$$

Сравните полученное в эксперименте значение с расчетным (теоретическим) значением ЭДС для медно-цинкового гальванического элемента:

ЭДС $(Cu|CuSO_4||Zn|ZnSO_4)_{теор.} = E_{кат.} - E_{ан.} = E^0(Cu^{+2}/Cu^0) - E^0(Zn^{+2}/Zn^0) = 0{,}34 - (-0{,}76) = 1{,}1В.$

Полученные данные занесите в таблицу

| ***Гальванический элемент*** | ***Величина ЭДС, В*** |
|---|---|
| $Э.Д.С.(Cu|CuSO_4||Zn|ZnSO_4)_{эксп.}$ | |
| ЭДС $(Cu|CuSO_4||Zn|ZnSO_4)_{теорет.}$ | |

Напишите уравнения и назовите процессы, протекающие на катоде и аноде данного гальванического элемента при его работе.

**4.** Определите ЭДС гальванического элемента

$$Э.Д.С.(Zn|ZnSO_4||Zn|ZnSO_4).$$

Сравните полученное в эксперименте значение с расчетным (теоретическим) значением ЭДС для концентрационного гальванического элемента:

$Э.Д.С.(Zn|ZnSO_4||Zn|ZnSO_4)_{теорет.} = E_{катода} - E_{анода} = .$

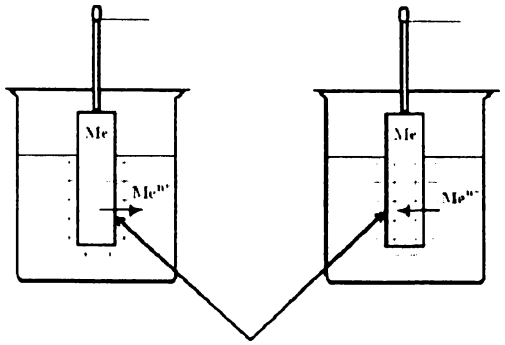
Полученные данные занесите в таблицу

| ***Гальванический элемент*** | ***Величина ЭДС, В*** |
|---|---|
| $Э.Д.С.(Zn|ZnSO_4||Zn|ZnSO_4)_{эксп.}$ | |
| $Э.Д.С.(Zn|ZnSO_4||Zn|ZnSO_4)_{теорет.}$ | |

Напишите уравнения и назовите процессы, протекающие на катоде и аноде данного гальванического элемента при его работе.

Подпись преподавателя _____

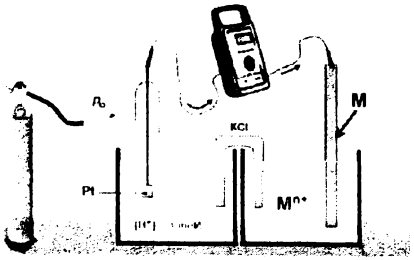
## Возникновение электродного потенциала



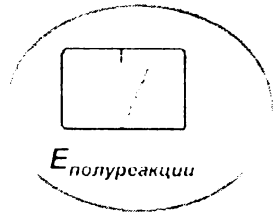

*равновесие*

$Me + ne^- \leftrightarrows Me^{n+}$

## Определение электродного потенциала




Исследуемый электрод



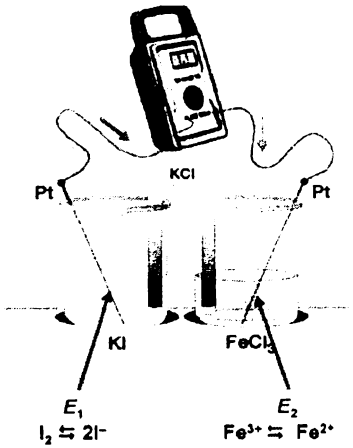

***Электродный потенциал полуреакции E*** – это разность электродных потенциалов, возникающая в гальваническом элементе, составленном из стандартного водородного электрода и электрода, в котором протекает исследуемая полуреакция. При активности всех участвующих в исследуемой реакции частиц, равных 1, и температуре 298 К электродный потенциал полуреакции называется стандартным и обозначается $E^0$

### Уравнение Нернста

При подстановке постоянных величин (R и F) и E= 298K

$$\varphi(Me^{n+}/Me) = \varphi^0(Me^{n+}/Me) + \frac{0,059}{n}\lg[Me^{n+}]$$

## ОВР в гальваническом элементе




$A = n \cdot F \cdot \Delta E$

*n – число $e^-$ переходящих от восстановителя к окислителю*

*F – число Фарадея*, 96485 Кл

*ΔE – разность электродных потенциалов* (В)

$A = -\Delta G$

$$\Delta E = -\frac{\Delta G}{nF}$$

$\Delta E = E_2 - E_1$

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗНОСТИ ЭЛЕКТРОДНЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ ($\Delta E$) РЕАКЦИИ

$\Delta G = -nF\Delta E$ $\quad \Delta G < 0,\ \Delta E > 0$ $\quad \Delta E = E_{ок.} - E_{вос.}$

| Реакция | $\Delta E^0$ | n | K |
|---|---|---|---|
| $2Cu^{2+} + 4I^- = 2CuI\downarrow + I_2$ | 0,86 – 0,54 = 0,32 В | 2 | $7,0 \cdot 10^{10}$ |
| $2Cu^{2+} + 4Br^- = 2CuBr\downarrow + I_2$ | 0,64 – 1,09 = –0,45 В | 2 | $5,6 \cdot 10^{-16}$ |

| Полуреакция | E, В | Полуреакция | E, В |
|---|---|---|---|
| $I_2 + 2e^- = 2I^-$ | +0,54 | $Cu^{2+} + I^- + e^- = CuI$ | +0,86 |
| $Cu^{2+} + Br^- + e^- = CuBr$ | +0,64 | $Br_2 + 2e^- = 2Br^-$ | +1,09 |

### КОНСТАНТА РАВНОВЕСИЯ ОВР

$$\Delta G = -nF\Delta E = -RT\ln K$$

$$\ln K = \frac{nF\Delta E}{RT} \qquad \lg K = \frac{n\Delta E}{0.059} \qquad K = 10^{\frac{n\Delta E}{0.059}}$$

### Электродвижущая сила (ЭДС)

- максимальная разность потенциалов электродов данного ГЭ в условиях равновесия, определяется (при стандартных условиях):

• ЭДС $= \varphi^0_{катода} - \varphi^0_{анода}$

**Вопросы для контроля**

**1.** Чему равен потенциал серебряного электрода, погруженного в раствор соли серебра с концентрацией См = $10^{-2}$ моль/л?

**2.** Определите величину ЭДС и укажите процессы, протекающие на электродах в следующих гальванических элементах:

а) $Zn|ZnSO_4||CdSO_4|Cd$; б) $Pb|Pb(NO_3)_2)||AgNO_3|Ag$.

**3.** Рассчитайте ЭДС следующего концентрационного гальванического элемента, имеющего следующую условную запись:

$$Zn|ZnCl_2||ZnCl_2|Zn.$$
**0,01 моль/л 1,0 моль/л**

Какой из электродов в этом гальваническом элементе является анодом, а какой – катодом?

**4.** Рассчитайте ЭДС и составьте схему гальванического элемента, состоящего из свинцового электрода, погруженного в 0.1М раствор нитрата свинца ($Pb(NO_3)_2$) и никелевого электрода, погруженного в 0.1М раствор хлорида никеля ($NiCl_2$). Запишите уравнения электродных процессов и токообразующей реакции.

**5.** Составьте схемы гальванических элементов, в одном из которых кадмий служил бы катодом, а в другом – анодом. Напишите уравнения, протекающие при работе этих элементов и вычислите значения стандартных ЭДС.

**6.** При каком условии будет работать гальванический элемент, в котором и анод и катод выполнены из одного и того же металла? Составьте схему гальванического элемента, в котором электроды представляют собой цинковые пластины, погруженные соответственно в 1М и 0.001М растворы хлорида цинка ($ZnCl_2$). Запишите уравнения электродных процессов и токообразующей реакции.

**7.** ЭДС гальванического элемента, собранного из стандартного цинкового электрода и хромового электрода, погруженного в раствор хлорида хрома (III) ($CrCl_3$) с неизвестной концентрацией, оказалась равной нулю. Рассчитайте концентрацию хлорида хрома (III) в растворе.

## ТЕСТ «Гальванические элементы»

***1. Используя электрохимический ряд активности (ряд напряжений) металлов, определите реагенты, которые взаимодействуют в водном растворе:***

**1)** Mn + HCl **2)** Fe + $MgSO_4$ **3)** Cu + $Pb(NO_3)_2$ **4)** Ag + HCl

***2. Чему равен электродный потенциал магния при 37°С, если он находится в растворе своей соли с концентрацией катионов 0,1 М? Ответ выразите в вольтах с точностью до сотых долей.***

***3. Определить с точностью до сотых долей вольта ЭДС (при стандартных условиях) гальванического элемента:***

(–) Mg | $Mg^{2+}$ || $Zn^{2+}$ | Zn (+)

***4. Руководствуясь рядом напряжений металлов, найдите реагенты, которые могут взаимодействовать в водном растворе:***

**1)** Bi + $Al_2(SO_4)_3$; **2)** Na + HCl; **3)** Cu + $Cd(NO_3)_2$; **4)** Ag + HCl.

***5. Металл при 37°С в растворе своей соли (концентрация катионов металла равна 0,1 М) имеет электродный потенциал –0,31 В. Какой это металл?***

**1)** Bi **2)** Ti **3)** Co **4)** Cu

***6. Определите с точностью до сотых долей вольта ЭДС (при стандартных условиях) гальванического элемента:***

(–) Mg | $Mg^{2+}$ || $Fe^{2+}$ | Fe (+)

***7. Руководствуясь рядом напряжений металлов, найти реагенты, которые могут взаимодействовать в водном растворе:***

**1)** Mn + $ZnSO_4$ ; **2)** Co + $ZnSO_4$; **3)** Pb + $ZnSO_4$; **4)** Cu + $ZnSO_4$.

**8.** ***По стандартным значениям*** $\varphi^0$ ***определить реакцию, протекающую в обратном направлении:***

**1)** $2Mn(NO_3)_2 + 5PbO_2 + 6HNO_3 = 2HMnO_4 + 5Pb(NO_3)_2 + 2H_2O$;

**2)** $Cl_2 + 2NaBr = 2NaCl + Br_2$;

**3)** $2HI + H_2SO_4 = H_2SO_3 + I_2 + H_2O$.

***9. Руководствуясь рядом напряжений металлов, найти реагенты, которые могут взаимодействовать в водном растворе:***

**1)** Sn + $FeSO_4$; **2)** Ca + $Cd(NO_3)_2$; **3)** Cu + $NiCl_2$; **4)** Ag + HCl.

**10.** ***По стандартным значениям*** $\varphi^0$ ***определить реакцию, протекающую в обратном направлении:***

**1)** $4CrO_3 = 2Cr_2 + 3O_2$;

**2)** $Cl_2 + 6KOH = 5KCl + KClO_3 + 3H_2O$;

**3)** $H_3SbO_4 + 2HCl = H_3SbO_3 + Cl_2 + H_2O$.

**11.** ***Металл при 17°С в растворе своей соли (концентрация катионов металла равна 0,1 М) имеет электродный потенциал – 0,77 В. Какой это металл?***

**1)** Cr **2)** Fe **3)** Cu **4)** Ag

**12.** ***Руководствуясь рядом напряжений металлов, найти реагенты, которые могут взаимодействовать в водном растворе:***

**1)** Mn + $ZnSO_4$; **2)** Co + $ZnSO_4$; **3)** Pb + $ZnSO_4$; **4)** Cu + $ZnSO_4$.

**13.** ***По стандартным значениям*** $\varphi^0$ ***определить реакцию, протекающую в обратном направлении:***

**1)** $2Mn(NO_3)_2 + 5PbO_2 + 6HNO_3 = 2HMnO_4 + 5Pb(NO_3)_2 + 2H_2O$;

**2)** $Cl_2 + 2NaBr = 2NaCl + Br_2$;

**3)** $2HI + H_2SO_4 = H_2SO_3 + I_2 + H_2O$.

**14.** ***Руководствуясь рядом напряжений металлов, найти реагенты, которые могут взаимодействовать в водном растворе:***

**1)** Fe + $ZnSO_4$; **2)** Fe + $MgCl_2$; **3)** Fe + $MnSO_4$; **4)** Fe + $Pb(NO_3)_2$.

**15.** ***По стандартным значениям*** $\varphi^0$ ***определить реакцию, протекающую в обратном направлении:***

**1)** $2NaI + MnO_2 + 2H_2SO_4 = I_2 + MnSO_4 + Na_2SO_4 + 2H_2O$;

**2)** $Zn + 2NaOH = Na_2ZnO_2 + H_2$;

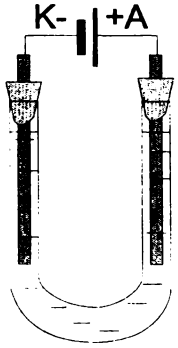
**3)** $H_2O_2 + H_2SO_4 = H_2SO_3 + O_2 + H_2O$.

**16.** ***Металл при 27°С в растворе своей соли (С = 0,1 М) имеет электродный потенциал -0,28 В. Какой это металл?***

**1)** Cu **2)** Ni **3)** Co **4)** Al

Дата _____

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 11 «Электролиз»

| Задание | Методика выполнения и результаты |
|---|---|
| **Рассмотреть электролиз как окисли-тельно-восстановительный процесс, протекающий под действием постоянного электрического тока на электродах, погруженных в электролит.**<br>**1. Электролиз раствора иодида калия.**<br>В U–образную трубку налить раствор иодида калия KI. Электролиз проводится с угольными электродами. В анодное колено добавить несколько капель раствора крахмала, в катодное – столько же фенолфталеина. Пропустить через раствор ток определенной силы в течение 2-3 мин. | **1.** Запишите наблюдения. Дайте объяснение и схему электролиза. Рассчитайте объём и массу продукта, выделившегося на катоде.<br>  |
| **2. Электролиз раствора сульфата меди.**<br>Один из угольных электродов осторожно зачистить наждачной бумагой, промыть дистиллированной водой, просушить фильтровальной бумагой. Взвесить электрод на аналитических весах с точностью до 0,001 г. Опустить электроды в U–образную трубку с раствором сульфата меди $CuSO_4$ и пропустить постоянный электрический ток. Силу тока и время электролиза задаёт преподаватель. | **2.** Запишите наблюдения. После отключения установки достать электроды, просушить фильтровальной бумагой электрод, на котором выделилась медь, и взвесить его. Определить по разнице масс количество выделившейся на электроде меди. Составить уравнение электродных процессов и общее уравнение реакции. Определить выход меди по току. |
| **3. Электролиз раствора сульфата натрия.**<br>В U–образную трубку налить раствор сульфата натрия. В катодное колено трубки добавить несколько капель лакмуса или метило- | **3.** Наблюдать происходящие явления (изменение окраски индикаторов, выделение газов). С чем это связано? Составить электродные процессы с учётом электродных потенциалов и перенапряжения, указать продукты электролиза. Сделать вывод: электролиз какого вещества фактически протекает в данном случае? |

| | |
|---|---|
| вого оранжевого, в анодное – фенолфталеина. В оба колена трубки опустить угольные электроды и пропускать постоянный электрический ток (силу тока и время электролиза задаёт преподаватель). Наблюдать происходящие явления (изменение окраски индикаторов, выделение газов). С чем это связано? Составить электродные процессы с учётом электродных потенциалов и перенапряжения, указать продукты электролиза.<br>Сделать вывод: электролиз какого вещества фактически протекает в данном случае? | |
| **4. Электролиз с растворимым анодом.**<br>В качестве электродов берут медные пластины толщиной несколько миллиметров. Электролит состоит из раствора медного купороса. | **4.** Составьте схему электролиза с учётом того, что для написания электродных реакций на катоде и аноде нужно сравнивать электродные потенциалы меди и других ионов, присутствующих в электролите. Учесть, что перенапряжение реакции окисления катионов меди мало, поэтому в указанном интервале потенциалов вода разлагаться не может. |

Подпись преподавателя _____

## Электролиз

**лиз** – разложение

- ОВР, протекающие на электродах при пропускании электрического тока через раствор или расплав электролита.

### Последовательность электродных процессов при электролизе раствора

### Анодные процессы

•**1.** Простые анионы Cl , Br , $S^{2}$ и др. (кроме F ) разряжаются на аноде:

$$2Cl^- - 2\bar{e} = Cl_2 .$$

•**2.** Сложные анионы ($SO_4^{2}$ , $NO_3$ и т.д.) и F на аноде не разряжаются, происходит окисление воды:

$$2H_2O - 4\bar{e} = O_2 + 4H^+. \quad (\varphi^0 = +1{,}23\ В).$$

## Последовательность электродных процессов при электролизе раствора

### Катодные процессы

**1.** Катионы металлов, стоящих в ряду напряжений до Al, и сам Al не разряжаются на катоде; в этом случае на катоде восстанавливаются молекулы воды по уравнению:

$$2H_2O + 2\bar{e} = H_2 + 2OH^-.$$

•**2.** Катионы металлов, находящихся в ряду напряжений от Al до Cd ($\varphi^0 = -0{,}41$В), разряжаются параллельно с водородом:

$$Me^{n+} + ne = Me^0, \qquad 2H_2O + 2e = H_2 + 2OH^-.$$

•**3.** Ионы благородных и малоактивных металлов, потенциал которых больше $\varphi^0 = -0{,}41$В, разряжаются в первую очередь, и разряд ионов водорода или молекул воды не происходит:

$$•Me^{n+} + n\bar{e} = Me^0.$$

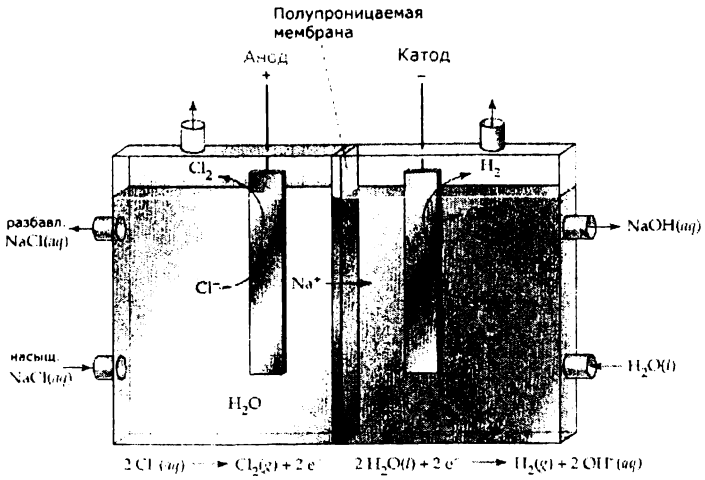
## Законы электролиза (Законы Фарадея)

$$m = \frac{M_э \cdot I \cdot t}{F},$$

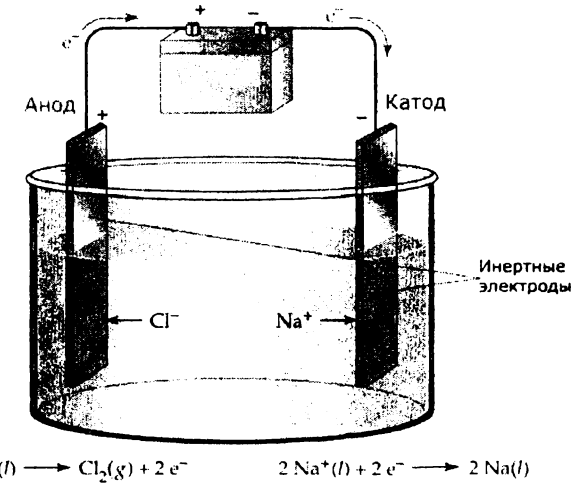
где **m** - масса выделившегося или подвергшегося превращению вещества (г),
$M_{ЭК}$ – эквивалентая масса вещества (г/моль),
$I$ – сила тока (А),
$t$ - время (с),
$F$ постоянная Фарадея (96500 Кл /моль),
$M_э/F$ – электрохимический эквивалент

• 2. При прохождении одного и того же количества электричества через раствор или расплав электролита массы (объёмы) веществ, выделившихся на электродах, прямо пропорциональных их химическим эквивалентам.

## Электролиз раствора NaCl




## Электролиз расплава NaCl



**Вопросы для контроля**

**1.** Через электролизеры с водными растворами нитрата ртути (II) и нитрата серебра пропустили одинаковое количество электричества. При этом выделилась ртуть массой 402 г. Чему равна масса, в граммах, выделившегося серебра?

**2.** Вычислите объем хлора в литрах (н.у.), который можно получить при электролизе расплава хлорида натрия массой 585 г считая, что хлорид натрия израсходован полностью.

**3.** При электролизе раствора сульфата меди с медными электродами масса катода увеличилась на 40 г. Какое количество электричества (в кулонах) было пропущено через раствор?

**4.** Гидроксид калия какой массы (в граммах) образуется при пропускании через раствор калийной соли 48250 кулонов электричества?

**5.** Кадмий какой массы выделился на катоде, если через раствор сульфата кадмия пропустили ток силой 3,35 А в течение одного часа? Ответ округлите до целого числа и дайте в граммах.

**6.** Серебро какой массы выделилось на катоде, если через раствор нитрата серебра пропустили электрический ток силой 0,67 А в течение 20 часов? Ответ округлите до целого числа и дайте в граммах.

**7.** При электролизе раствора хлорида щелочного металла образовалась щелочь массой 3,06 г и хлор объемом 336 мл (н.у.). Определите значение относительной атомной массы щелочного металла.

**8.** Какие процессы протекают на электродах при электролизе раствора хлорида никеля (II), в случае:
а)никелевого анода; б) угольного анода.

**9.** В какой последовательности выделяются на катоде металлы при электролизе раствора, содержащего ионы $Zn^{2+}$, $Ag^{+}$, $Sn^{2+}$?

**10.** При электролизе раствора сульфата никеля током 10 А в течение 5 часов (электроды угольные) на катоде выделилось 50 г никеля. Какой продукт образуется на аноде и в каком количестве? Вычислить выход никеля по току.

## ТЕСТ «Электролиз»

***1. Какие процессы идут на катоде и инертном аноде при электролизе раствора нитрата калия?***

**1) К:** $KNO_3 = K^+ + NO_3^-$
**А:** $K^+ + NO_3^- = KNO_3$

**2) К:** $2H_2O + 2e^- = H_2 + 2OH^-$
**А:** $NO_3^- - e^- = NO + O_2$

**3) К:** $2H_2O + 2e^- = H_2 + 2OH^-$
**А:** $2H_2O - 4e^- = O_2 + 4H^+$

**4) К:** $2H_2O + 2e^- = H_2 + 2OH^-$
**А:** $2NO_3^- - 2e^- = 2NO_2 + O_2$

***2. Электролиз раствора сульфата меди (II) проводили при силе тока 20 А в течение 12 ч. Выход по току составил 90%. Определите массу полученной меди, ответ выразите в граммах целым числом.***

***3. Какие процессы идут на катоде и растворимом аноде при электролизе раствора сульфата железа(II)?***

**1) К:** $Fe^{2+} + 2e^- = Fe$
**А:** $Fe - 2e^- = Fe^{2+}$

**2) К:** $Fe^{3+} + 3e^- = Fe$
**А:** $Fe - 3e^- = Fe^{3+}$

**3) К:** $Fe^{2+} + 2e^- = Fe$
**А:** $2H_2O - 4e^- = O_2 + 4H^+$

**4) К:** $2H_2O + 2e^- = H_2 + 2OH^-$
**А:** $2H_2O - 4e^- = O_2 + 4H^+$

***4. Электролиз расплавленного хлорида натрия проводили 24 ч, получив при этом 1,44 кг натрия. Выход по току составил 70%. Определите силу тока, ответ выразите в амперах целым числом.***

***5. Какие процессы идут на катоде и инертном аноде при электролизе раствора хлорида меди(II)?***

**1) К:** $Cu^{2+} + 2e^- = Cu$
**А:** $Cu - 2e^- = Cu^{2+}$

**2) К:** $Cu^{2+} + 2e^- = Cu$
**А:** $2H_2O - 4e^- = O_2 + 4H^+$

**3) К:** $Cu^{2+} + 2e^- = Cu$
**А:** $2Cl^- - 2e^- = Cl_2$

**4) К:** $2H_2O + 2e^- = H_2 + 2OH^-$
**А:** $2H_2O - 4e^- = O_2 + 4H^+$

***6. При электролизе водного раствора сульфата натрия $Na_2SO_4$ на аноде протекает реакция:***

**1)** $2H_2O - 4\bar{e} \rightarrow O_2 + 4H^+$;
**2)** $2SO_4^{2-} - 2\bar{e} \rightarrow S_2O_8^{2-}$;
**3)** $4OH - 4\bar{e} \rightarrow O_2 + 2H_2O$;
**4)** $2H_2O + 2\bar{e} \rightarrow H_2 + 2OH^-$.

***7. Продуктами, выделяющимися на электродах при электролизе водного раствора $CuBr_2$ являются:***

**1)** Cu и $O_2$; **2)** $H_2$ и $Br_2$; **3)** Cu и $Br_2$; **4)** $H_2$ и $O_2$.

***8. При электролизе водного раствора сульфата железа(II) на аноде протекает процесс:***

**1)** $2H_2O - 4\bar{e} \rightarrow O_2 + 4H^+$;
**2)** $Fe^{2+} + 2\bar{e} \rightarrow Fe$;
**3)** $4OH - 4\bar{e} \rightarrow O_2 + 2H_2O$;
**4)** $2H_2O + 2\bar{e} \rightarrow H_2 + 2OH^-$.

***9. При электролизе водного хлорида меди на катоде идет процесс:***

**1)** $Cu - 2\bar{e} \rightarrow Cu^{2+}$;
**2)** $Cu^{2+} + 2\bar{e} \rightarrow Cu$;
**3)** $2H_2O - 4\bar{e} \rightarrow O_2 + 4H^+$;
**4)** $2H_2O + 2\bar{e} \rightarrow H_2 + 2OH^-$.

***10. В какой последовательности будут выделяться металлы при электролизе раствора, содержащего в одинаковой концентрации нитраты никеля, серебра, меди?***

**1)** Ag, Cu, Ni **2)** Cu, Ni, Ag **3)** Ag, Ni, Cu **4)** Ni, Ag, Cu

***11. Вычислить массу серебра, выделившегося на катоде при пропускании тока силой 6 А через раствор нитрата серебра в течение 30 мин.***

**1)** 19 г **2)** 6 г **3)** 12 г **4)** 0,2 г

***12. При электролизе водного раствора соли значение pH в приэлектродном пространстве одного из электродов возросло. Раствор какой соли подвергся электролизу?***

**1)** хлорида калия (KCl);
**2)** нитрата меди (II) ($Cu(NO_3)_2$);
**3)** хлорида меди ($CuCl_2$);
**4)** другой соли.

***13. В какой последовательности будут выделяться металлы при электролизе раствора, содержащего в одинаковой концентрации хлориды железа, меди, цинка?***

**1)** Fe, Cu, Zn **2)** Cu, Fe, Zn **3)** Zn, Fe, Cu **4)** Fe, Zn, Cu

***14. Сколько времени потребуется для полного разложения 2 моль воды током силой 2 А?***

**1)** 107,2 ч **2)** 53,6 ч **3)** 3 ч **4)** другой ответ

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 12 «Коррозия металлов»

| Задание | Методика выполнения и результаты |
|---|---|
| **Изучение процессов коррозии и факторов, влияющих на протекание коррозии.**<br>**1. Изучение процессов коррозии гальванической пары железо-медь в кислой и нейтральной средах.**<br>Подготовьте к работе гальваническую пару, состоящую из железного стержня и медной пластины. В два химических стакана налейте примерно 1/3 объема 1М раствора хлорида натрия (NaCl), а во второй – такой же объем 1М раствора соляной кислоты (HCl). В каждый стакан добавьте по 2 капли 0.5н раствора гексацианоферрата (III) калия ($K_3[Fe(CN)_6]$).<br>– погрузите гальваническую пару железо-медь в раствор хлорида натрия;<br>– погрузите гальваническую пару железо-медь в раствор соляной кислоты. | **1.** По результатам опытов определите, в какой среде (кислой или нейтральной) скорость коррозии выше. Объясните полученный результат.<br>Запишите уравнения анодных и катодных процессов, протекающих на электродах, и суммарное уравнение реакции:<br>Запишите уравнение химической реакции, приводящей к образованию синей окраски раствора. |
| **2. Изучение влияния различной аэрации на коррозию поверхности стали, смоченной раствором электролита.**<br>Подготовьте к опыту стальную пластинку, для чего зачистите ее поверхность шлифовальной бумагой до блеска и обезжирьте при помощи фильтровальной бумаги, смоченной в орга- | **2.** Какие ионы позволяет обнаружить гексацианоферрат (III) калия?<br>Какие ионы можно обнаружить в растворе с помощью фенолфталеина? |

ническом растворителе (спирте, ацетоне).

На просушенную пластину нанесите 1 каплю специального раствора (смесь 0.5 М раствора хлорида натрия NaCl, спиртового раствора индикатора фенолфталеина и 0.5 н раствора гексацианоферрата(III) калия ($K_3[Fe(CN)_6]$).

Какую окраску принимает фенолфталеин в щелочной среде?

Отметьте изменения окраски капли через 3-5 минут после начала опыта и зарисуйте металлическую пластинку с каплей специального раствора в лабораторную тетрадь. Составьте уравнения электродных процессов, зарисуйте наблюдаемую картину и объясните появление малиновой окраски по краю капли.

Где располагается участок с меньшим доступом кислорода? Какую роль (катода или анода) он играет в процессе коррозии?

**3. Изучение процесса коррозии железа на поврежденном участке (дефекте) поверхности анодного и катодного защитного метал-лического покрытий.**

Подготовьте к опыту две железные пластины с нанесенными на них цинковым и оловянным покрытием соответственно. Для этого обезжирьте их поверхность спиртом, а затем протрите фильтровальной бумагой. Затем на исследуемые поверхности нанесите 1-2 глубокие царапины. На полученный дефект покрытия поместите 1-2 капли раствора серной кислоты ($H_2SO_4$) и туда же добавьте 1 каплю 0.5н раствора гексацианоферрата (III) калия ($K_3[Fe(CN)_6]$).

**3.** Наблюдайте в течение 2-3 минут за изменением окраски капли на оцинкованной и луженой железных пластинах. Объясните ваши наблюдения, запишите уравнения катодных и анодных электродных процессов, суммарное уравнение реакции и приведите схемы коррозионных элементов.

| Схема гальванического элемента | Уравнение процесса окисления на аноде | Уравнение процесса восстановления на катоде | Какое покрытие более эффективно для защиты от коррозии? |
|---|---|---|---|
| Луженое железо | | | |
| Оцинкованное железо | | | |

Укажите, какое из изученных покрытий было анодным и какое катодным.

| | |
|---|---|
| **4.Сравнительное исследование коррозионной стойкости обыкновенной и легированной стали в кислой среде.**<br>В две пробирки налейте до 1/2 объема 0.1 М водного раствора серной кислоты ($H_2SO_4$) и добавьте в каждую из пробирок по 3-4 капли 0.5н раствора гексацианоферрата (III) калия ($K_3[Fe(CN)_6]$).<br>В одну пробирку погрузите предварительно зачищенный наждачной бумагой и промытый проточной водой стержень из обыкновенной стали.<br>Во вторую пробирку – стержень или пластинку из нержавеющей стали. | **4.** Отметьте различия в изменении цвета раствора через 5 минут после начала опыта и сравните количество выделяющихся пузырьков газа в единицу времени в каждой из пробирок.<br><br>Объясните ваши наблюдения и причину различного поведения исследованных металлических образцов в растворе кислоты.<br><br>Запишите уравнения протекающих процессов. |
| **5. Изучение влияния ингибитора на скорость коррозии железа**<br>В две пробирки налейте до 1/2 объема 0.1 М водного раствора $H_2SO_4$ и поместите в каждую из них предварительно зачищенный наждачной бумагой стержень из обычной стали. В одну из пробирок добавьте несколько кристалликов $Na_2CrO_4$). | **5.** Зафиксируйте различия в протекании коррозии в двух случаях.<br><br>Объясните причину наблюдаемых различий. |
| | Подпись преподавателя _____ |

**Вопросы для контроля**

**1.** Вычислите потенциал водородного электрода, погруженного:
а) в раствор с pH = 3,5; б) в раствор с pH = 5;
в) раствор с pH = 10,7; с) в раствор с pH = 14.

**2.** Потенциал водородного электрода в некотором водном растворе равен 118 мВ. Вычислите активность ионов $H^+$ в этом растворе.

**3.** Водородный электрод погружен в раствор с pH = 0. Насколько изменится потенциал электрода, если раствор нейтрализовать до pH = 7?

**4.** Вычислите электродный потенциал никеля, опущенного в раствор его соли концентрации:
а) 0,01 моль/л; б) 0,1 моль/л; в) 0,5 моль/л; г) 1 моль/л.

**5.** Вычислите э.д.с. концентрационного гальванического элемента (в милливольтах), состоящего из цинковых электродов, опущенных в растворы сульфата цинка с активностью $2 \cdot 10^{-2}$ и $3{,}2 \cdot 10^{-3}$ моль/л.

**6.** Вычислите э.д.с. концентрационных элементов (растворы содержат по 0,1 моль/л $KNO_3$):
а) $Ag/AgCl_{нас.}//AgI_{нас.}/Ag$; б) $Ag/Ag_2S_{нас.}//AgCl_{нас.}/Ag$.

**7.** При какой активности $Pb^{2+}$ э.д.с. гальванического элемента $Pb/\ Pb^{2+}//H^+/H_2$ будет равна нулю? Возможна ли такая активность?

**8.** В каком направлении будут перемещаться электроны во внешней цепи гальванического элемента $Mg/Mg^{2+}//Fe^{3+}/Fe$, если концентрации электролитов равны 1 моль/л? Насколько изменится э.д.с. этого элемента, если растворы обеих солей разбавить до концентрации 0,03 моль/л?

**9.** Напишите уравнения коррозионных процессов луженого железа:
а) в кислой среде; б) в щелочной среде.

**10.** Напишите уравнения коррозионных процессов оцинкованного железа:
а) в кислой среде; б) в щелочной среде.

## Тест «Коррозия металлов»

***1. Продуктами, выделяющимися на инертных электродах при электролизе водного раствора хлорида калия:***

**1)** $H_2$ и $O_2$; **2)** K и $Cl_2$; **3)** $H_2$ и $Cl_2$; **4)** K и $O_2$.

***2. Для защиты железных изделий от коррозии в качестве анодного покрытия используют:***

**1)** Sn; **2)** Zn; **3))** Cu; **4)** Ag.

***3. Для защиты медных изделий от коррозии в качестве катодного покрытия используют:***

**1)** цинк; **2)** олово; **3)** серебро; **4)** железо.

***4. Для защиты меди от коррозии в качестве анодного покрытия можно использовать:***

**1)** Au; **2)** Al; **3)** Ag; **4)** Pt.

***5. К способам защиты металлов от коррозии не относятся:***

**1)** нанесение анодного покрытия; **3)** протекторная защита;
**2)** плазменная защита; **4)** электрозащита.

***6. В системе, состоящей из стального корпуса, защищенного магниевым протектором, в морской воде идет:***

**1)** окисление железа; **3)** восстановление магния;
**2)** восстановление железа; **4)** окисление магния.

***7. Если коррозия железа, частично покрытого цинком, идет в нейтральной среде, то катодный процесс имеет вид:***

**1)** $Fe - 2\bar{e} \rightarrow Fe^{2+}$; **3)** $2H^+ + 2\bar{e} \rightarrow H_2$;
**2)** $Fe^{2+} + 2\bar{e} \rightarrow Fe$; **4)** $H_2O + O_2 + 4\bar{e} \rightarrow 4OH^-$.

***8. В каком случае коррозия протекает быстрее, если железная пластинка контактирует с:***

**1)** медью; **2)** серебром; **3)** оловом; **4)** цинком.

***9. При нарушении оловянного покрытия железа, находящегося в кислой среде, на аноде идет процесс:***

**1)** $2H^+ + 2\bar{e} \rightarrow H_2$; **2)** $Sn - 2\bar{e} \rightarrow Sn^{2+}$; **3)** $Fe - 2\bar{e} \rightarrow Fe^{2+}$; **4)** $Sn^{2+} + 2\bar{e} \rightarrow Sn$.

***10. В системе, состоящей из стального корпуса, защищенного магниевым протектором, в морской воде самопроизвольно протекает:***

**1)** восстановление магния; **3)** окисление магния;
**2)** окисление железа; **4)** восстановление железа.

***11. Коррозию металлов и сплавов вызывает:***

**1)** вода и кислород;
**2)** оксиды углерода и серы;
**3)** растворы солей;
**4)** все перечисленные компоненты.

***12. Наиболее сильно металл коррозирует:***

**1)** в растворе хлорида натрия;
**2)** в кипяченой дистиллированной воде;
**3)** в сухом воздухе;
**4)** в дистиллированной воде.

***13. Вещества, введение которых уменьшает агрессивность среды, называют:***

**1)** катализаторы коррозии; **3)** ингибиторы коррозии;
**2)** активаторы коррозии; **4)** протектор.

***14. Более активный металл, предотвращающий коррозию менее активного металла, называется:***

**1)** катализатор коррозии; **3)** активатор коррозии;
**2)** ингибитор коррозии; **4)** протектор.

***15. Для защиты стальных корпусов морских судов обычно используют***

**1)** Na; **2)** Zn; **3)** Cu; **4)** Fe.

***16. Расставьте факторы, влияющие на коррозию металла, в порядке увеличения эффекта коррозии:***

**1)** дистиллированная вода;
**2)** раствор хлорида натрия;
**3)** сухой воздух;
**4)** кипяченая дистиллированная вода.

**Коррозия – это химическое и электрохимическое разрушение металлов и их сплавов в результате воздействия на них окружающей среды.**

**Существует два вида коррозии: химическая и электрохимическая.**

***химическая коррозия***

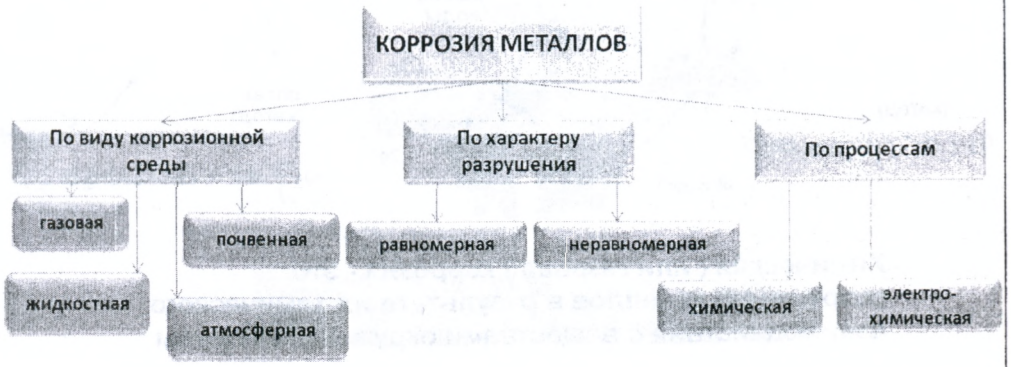
$$4Fe + 3O + 6H_2O = 4Fe(OH)_3$$

**Коррозию Ме и их сплавов вызывают такие компоненты окружающей среды, как вода, кислород, оксиды углерода и серы, водные растворы солей.**

***Электрохимическая коррозия***

$$\overset{0}{Fe} + 2\overset{+}{H} = \overset{2+}{Fe} + \overset{0}{H_2}$$

**Более активный Ме при электрохимической коррозии разрушается, переходя в воду, тем самым предохраняя менее активный Ме от разрушения.**

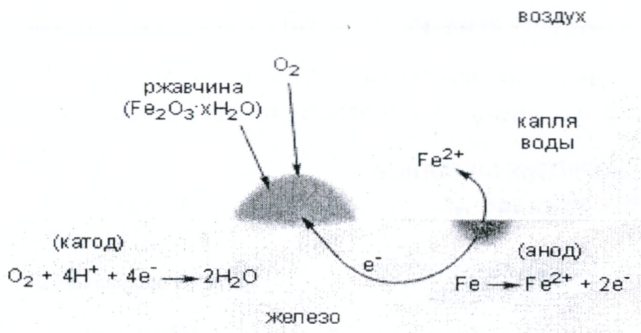


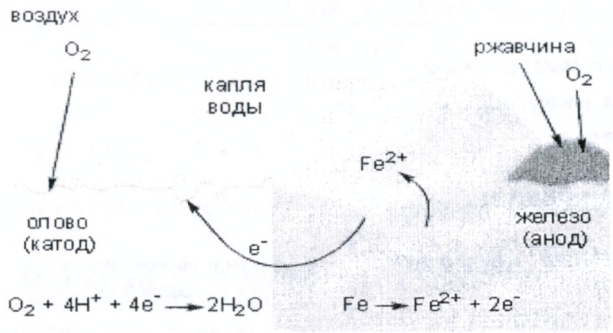

Коррозия зависит :
1) от природы металлов
2) от температуры
3) pH среды
4) природы электролитов

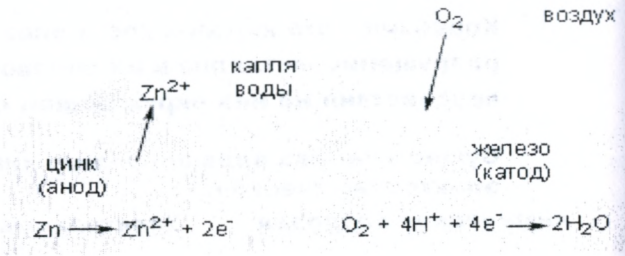
- Кислородная коррозия протекает в нейтральной или основной среде, водородная – в кислой.
- 1) Fe – 2e ⟶ Fe 2+
- 2) кислородная коррозия
- $O_2 + 2H_2O + 4e \longrightarrow 4OH^-$
- $4Fe(OH)_2 + O_2 + 2H_2O \longrightarrow 4Fe(OH)_3 \rightarrow Fe_2O_3$

- Электрохимическая коррозия зависит:
- 1) от примесей неметаллов и неоднородности поверхности
- 2) скорость коррозии тем выше, чем дальше друг от друга расположены металлы в ряду напряжения
- 3)скорость коррозии повышается с повышением кислотности и содержанием окислителей

- Электрохимическая коррозия – разрушение металлов в среде электролита с возникновением электрического тока.
- При электрохимической коррозии происходит:
- 1) окисление металла
- Ме – пе ⟶ Ме n+ анодный процесс
- 2) восстановление окислителя
- $O_2 + 2H_2O + 4e \longrightarrow 4OH^-$ - кислородная коррозия
- $2H^+ + 2e \longrightarrow H_2$ водородная коррозия




**Химическая ( или газовая ) коррозия - это разрушение металлов в результате их химического взаимодействия с веществами окружающей среды**

$$4\,Fe^0 + 3\,O_2 \xrightarrow{t} 2\,Fe^{+3}_2\,O_3$$

$$2\,Fe^0 + 3\,SO_2 + 3\,O_2 \xrightarrow{t} Fe^{+3}_2(SO_4)_3$$

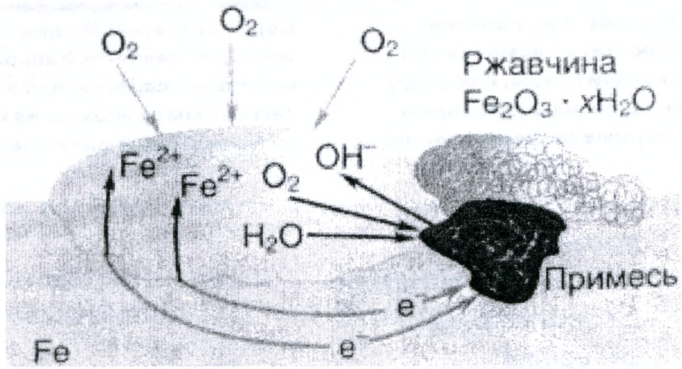
$$2\,Zn^0 + O_2 \xrightarrow{t} 2\,Zn^{+2}O$$

## 1.Коррозия с водородной деполяризацией (кислая среда)

коррозия цинка, находящегося в контакте с кадмием в кислом растворе

- A(-): $Zn^0 - 2\bar{e} = Zn^{2+}$
- K(+): $2H^+ + 2\bar{e} = H_2$

$$Zn^0 + 2H^+ = Zn^{2+} + H_2$$




## 2. Коррозия с кислородной деполяризацией(нейтральная среда)

A(-): $Fe^0 - 2\bar{e} = Fe^{2+}$ | 4 | 2

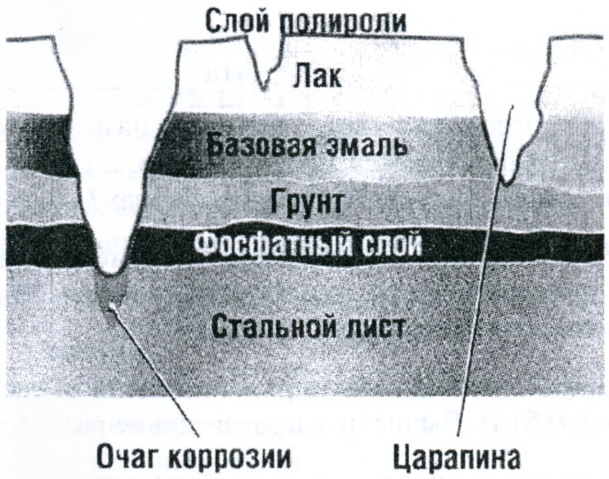
K(+): $2H_2O + O_2 + 4\bar{e} = 4OH^-$ | 2 | 1

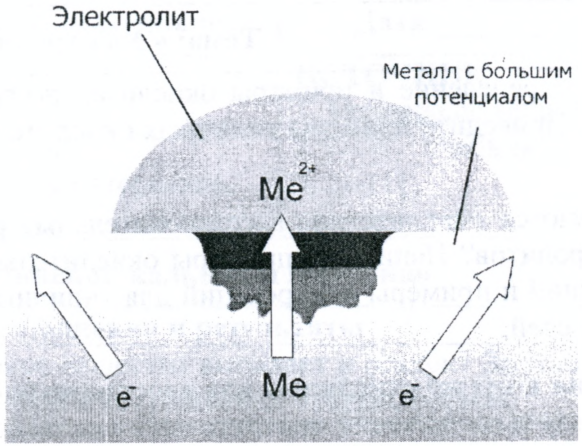
$$2Fe^0 + 2H_2O + O_2 = 2Fe^{2+} + 4OH^-$$

$$2Fe(OH)_2$$

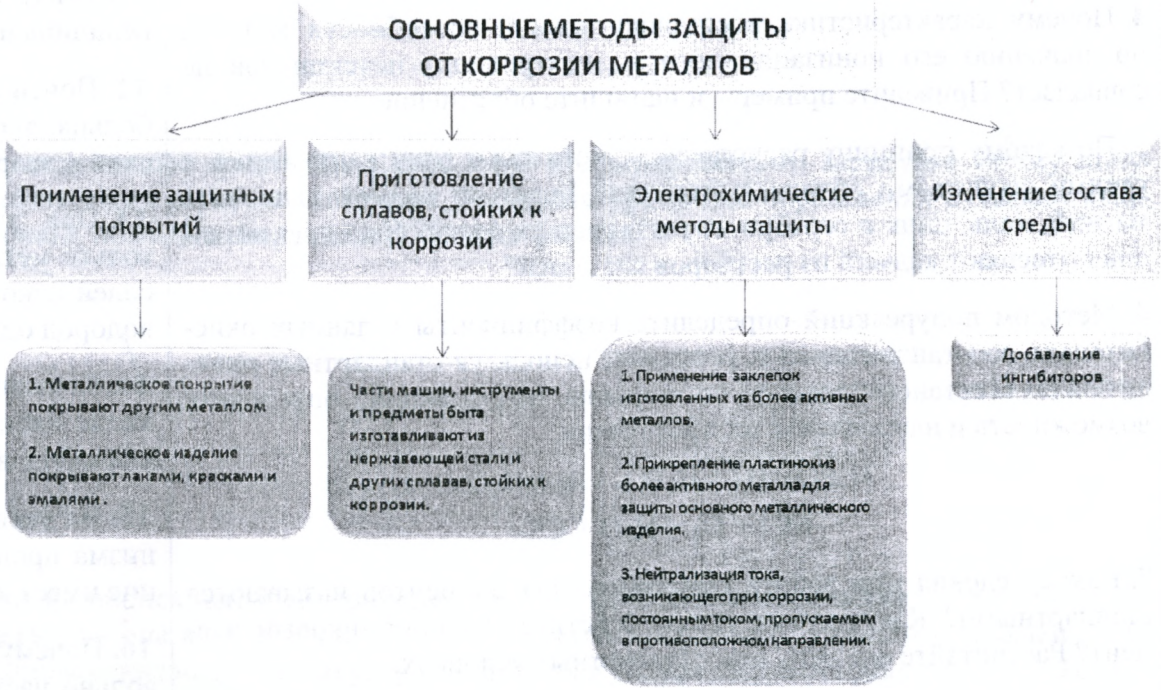
$$2Fe(OH)_2 + 1/2O_2 + H_2O = 2Fe(OH)_3$$

$$2Fe(OH)_3 = Fe_2O_3 + H_2O$$


Слой полироли
Лак
Базовая эмаль
Грунт
Фосфатный слой
Стальной лист
Очаг коррозии
Царапина


Электролит
Металл с бо́льшим потенциалом
Me2+
e-
Me
e-

Защита металлов от коррозии
Изолирующие покрытия
Протекторная защита
Катодная защита
Применение ингибиторов


ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ОТ КОРРОЗИИ МЕТАЛЛОВ
Применение защитных покрытий
Приготовление сплавов, стойких к коррозии
Электрохимические методы защиты
Изменение состава среды
1. Металлическое покрытие покрывают другим металлом
2. Металлическое изделие покрывают лаками, красками и эмалями.
Части машин, инструменты и предметы быта изготавливают из нержавеющей стали и других сплавов, стойких к коррозии.
1. Применение заклепок изготовленных из более активных металлов.
2. Прикрепление пластинок из более активного металла для защиты основного металлического изделия.
3. Нейтрализация тока, возникающего при коррозии, постоянным током, пропускаемым в противоположном направлении.
Добавление ингибиторов

## ИТОГОВОЕ ЗАНЯТИЕ № 3

| Тема: «Электрохимия» | Дата _____ |
|---|---|
| **1.** Напишите определение и примеры окислительно-восстановительных реакций. Приведите примеры типичных окислителей и восстановителей.<br><br>**2.** Чем отличаются окислительно-восстановительные реакции в растворах электролитов? Напишите примеры окислительно-восстановительных реакций и примеры полуреакций для типичных окислителей и восстановителей.<br><br>**3.** Почему один и тот же окислитель или восстановитель может иметь не одно, а несколько значений окислительно-восстановительного потенциала? Приведите примеры.<br><br>**4.** Почему характеристика восстановительной способности металла по значению его ионизационного и электродного потенциалов не совпадает? Приведите примеры и напишите объяснение.<br><br>**5.** По какому принципу расположены металлы в ряду напряжений и какими свойствами обладает этот ряд? Будет ли кадмий вытеснять магний, медь, цинк и серебро из растворов их солей? Какие из металлов вытесняют кадмий из растворов его солей?<br><br>**6.** Методом полуреакций определите коэффициенты в данных окислительно-восстановительных реакциях; используя стандартные окислительно-восстановительные потенциалы полуреакций, определите возможность и направление их протекания:<br>$H_3PO_4+HI = H_3PO_3 + I_2 + H_2O$<br>$HCl + O_2 = H_2O + Cl_2$<br><br>**7.** Какие условия при работе гальванических элементов называются стандартными? Как устроен и как действует медно-цинковый элемент? Рассчитайте его ЭДС при стандартных условиях. | **8.** Какая часть гальванического элемента называется электродом? Какой из электродов заряжен положительно, а какой отрицательно, какие химические процессы идут на электродах?<br><br>**9.** Составьте схемы двух гальванических элементов, в одном из которых медь является анодом, а во втором – катодом. Вычислите ЭДС этих элементов при стандартных условиях.<br><br>**10.** Электродный потенциал серебра в насыщенном растворе хлорида серебра равен 0,51 В. Вычислите произведение растворимости AgCl.<br><br>**11.** Какая характеристика электролиза называется напряжением разложения? Какими двумя способами рассчитывается теоретическая величина напряжения разложения? Приведите пример.<br><br>**12.** Почти всегда при электролизе реальное напряжение разложения больше теоретического. Как называется разность между практической и теоретической величиной напряжения разложения?<br><br>**13.** При электролизе каких электролитов на катоде выделяются только металлы, а каких – только водород? Почему при электролизе солей некоторых металлов (каких?) на катоде выделяются металл и водород одновременно?<br><br>**14.** В каких случаях при электролизе водных растворов солей на аноде наблюдается разрядка анионов, в каких случаях выделяется кислород, в каких случаях идет окисление самого анода?<br><br>**15.** На какие виды подразделяется коррозия в зависимости от механизма процесса и формы коррозионных разрушений? Какое значение имеет коррозия?<br><br>**16.** Почему позолоту куполов церквей приходится обновлять довольно часто? Известно, что чистое золото практически не подвержено коррозии даже на протяжении тысячелетий. |

**ЗАНЯТИЕ №8**

| **Тема: «Физико-химические основы процессов коррозии минеральных строительных материалов»** | **Дата** _____ |
|---|---|
| **ПЕРЕЧЕНЬ ИЗУЧАЕМЫХ ВОПРОСОВ**<br>1. Физико-химические свойства соединений кальция и кремния.<br>2. Физико-химические основы процессов коррозии минеральных строительных материалов.<br>3. Влияние различных агрессивных сред на скорость коррозии минеральных строительных материалов.<br>4. Способы предотвращения и защиты от коррозии минеральных строительных материалов. | **ИСТОЧНИК**<br>1. Материалы лекций<br>2. [1-3] – учебник<br>3. [4-11] |

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 13 «Химические свойства соединений кальция и кремния»**

| **Задание** | **Методика выполнения и результаты** |
|---|---|
| **Изучить основные химические свойства соединений кальция и кремния.**<br>**1. Качественная реакция на ионы $Ca^{2+}$.**<br>В пробирку внесите 1-2 мл раствора хлорида кальция ($CaCl_2$), затем по каплям приливайте раствор оксалата аммония ($(NH_4)_2C_2O_4$). | **1.** Отметьте происходящие изменения. Какое вещество выпадает в осадок? Запишите уравнение протекающей реакции в молекулярной, полной и сокращенной ионных формах. |
| **2. Получение дигидрата сульфата кальция $CaSO_4 \cdot 2H_2O$.**<br>Нанесите на предметное стекло каплю раствора хлорида кальция ($CaCl_2$). Прибавьте к нему каплю раствора сульфата натрия ($Na_2SO_4$). Предметное стекло поместите на край электроплитки и слегка упарьте до появления каемки по краям капли. С помощью пинцета или щипцов снимите и оставьте его на 3-4 минуты остывать. | **2.** Рассмотрите полученные кристаллы $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ под микроскопом. Зарисуйте форму полученных кристаллов гипса в рабочих тетрадях. Запишите уравнение образования сульфата кальция в молекулярной, полной и сокращенной ионных формах. |
| **3. Получение геля кремниевой кислоты.**<br>В пробирку внесите 1-2 мл раствора силиката натрия ($Na_2SiO_3$) и приливайте по каплям раствор соляной кислоты (HCl). | **3.** Какие изменения происходят с содержимым пробирки? В каком виде образуется кремниевая кислота? Выпадает ли она в осадок или образует коллоидный раствор? Запишите уравнение образования кремниевой кислоты в молекулярной, полной и сокращенной ионных формах. *(Формулу кремниевой кислоты для данного опыта записывайте в виде $H_2SiO_3$).* |

| | |
|---|---|
| **4 Получение силиката кальция.**<br>В пробирку внесите 1-2 мл раствора силиката натрия ($Na_2SiO_3$) и приливайте по каплям раствор хлорида кальция ($CaCl_2$). | **4.** Отметьте происходящие изменения. Какое вещество выпадает в осадок? Запишите уравнение протекающей реакции в молекулярной, полной и сокращенной ионных формах. *(Формулу силиката кальция для данного опыта записывайте в виде $CaSiO_3$).* |
| **5. Качественная реакция на ионы $SiO_3^{2-}$.**<br>В пробирку внесите 1-2 мл раствора силиката натрия ($Na_2SiO_3$), затем прибавьте несколько капель раствора соляной кислоты. С помощью индикаторной бумаги измерьте pH раствора. Раствор должен быть слабокислым: pH≤4. Если pH раствора больше 4, то добавьте еще несколько капель кислоты.<br>К полученному раствору прибавляйте по каплям водный раствор 24-оксогептамолибдата (VI) аммония ($(NH_4)_6Mo_7O_{24}$).<br>Для получения «молибденовой сини» к полученному ранее осадку аммонийной соли кремниймолибденовой кислоты прибавьте 3-4 капли раствора тиосульфата натрия ($Na_2S_2O_3$). | **5.** Какие изменения происходят с раствором? Как изменяется окраска полученного раствора с течением времени?<br><br>В результате данной реакции образуется аммонийная соль кремниймолибденовой кислоты:<br>$12(NH_4)_6Mo_7O_{24} + 7Na_2SiO_3 + 58HCl \rightarrow 7(NH_4)_4[SiMo_{12}O_{40}]\downarrow + 14NaCl + 44NH_4Cl + 29H_2O$<br><br>При восстановлении соли образуется ярко окрашенное соединение – «молибденовая синь», имеющее условную формулу $Mo_4O_{10}(OH)_2 + Mo_2O_4(OH)_2$. Зафиксируйте происходящие изменения при получении «молибденовой сини». |

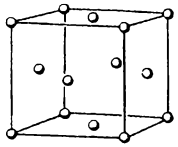
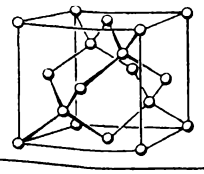
Подпись преподавателя _____

## ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

Необходимость детального изучения соединений кальция и кремния обусловлена той огромной ролью, которою играют эти вещества в живой и неживой природе, в хозяйственной деятельности человека:

- кремний и кальций относятся к наиболее распространенным элементам. Кремний занимает второе, а кальций пятое место по содержанию в земной коре. Известно более 400 минералов, содержащих кальций, число кремнийсодержащих минералов еще больше;
- кальций и кремний относятся к биогенным элементам. Кремний является структурным элементом соединительной ткани, играет существенную роль в метаболизме многих растений и микроорганизмов. Содержание кальция в человеческом организме превышает суммарное содержание всех остальных металлов;
- кальций и кремний как в индивидуальном виде, так и в виде химических соединений широко используются в различных сферах промышленности. Кремний является ведущим современным полупроводниковым материалом. Он применяется для легирования стали, получения отдельных сортов бронз, изготовления солнечных батарей. Кальций и его соединения используются для получения ацетилена, хлорной извести, удобрений, ряда сплавов, обладающих ценными эксплуатационными свойствами. Главной областью применения соединений кальция и кремния является строительная промышленность. Соединения Ca и Si являются основным сырьем для производства вяжущих веществ, керамики, стекла, и, несмотря на возрастающую конкуренцию со стороны полимеров, вряд ли в ближайшем будущем будут полностью вытеснены с рынка строительных материалов.

### Кальций и кремний. Физические и химические свойства

| **Физические свойства** | |
|---|---|
| **Кальций** | **Кремний** |
| ***Внешний вид и механические свойства:*** белый блестящий металл. На воздухе быстро покрывается желтоватой пленкой, состоящей из продуктов взаимодействия кальция с составными частями воздуха (CaO, $Ca(OH)_2$, $CaCO_3$, $Ca_3N_2$ и др.). Характеризуется довольно высокой твердостью. | ***Внешний вид и механические свойства:*** серебристо-серое вещество с металлическим блеском. Характеризуется высокой твердостью и хрупкостью. |
| ***Структура:*** при нормальных условиях наиболее устойчивой аллотропной модификацией является гранецентрированная кубическая (ГЦК).  | ***Структура:*** при нормальных условиях наиболее устойчивой аллотропной модификацией является кубическая алмазоподобная.  |
| ***Температура плавления***, $T_{пл}$: 839°C | ***Температура плавления***, $T_{пл}$: 1410°C |
| ***Температура кипения***, $T_{кип}$: 1484°C | ***Температура кипения***, $T_{кип}$: 2355°C |
| ***Плотность***, $\rho$: 1.54 кг/см$^3$ | ***Плотность***, $\rho$: 2.328 г/см$^3$ |
| ***Проводимость:*** хороший проводник электрического тока. Удельное электрическое сопротивление 0.038 мкОм·м. | ***Проводимость:*** ярко выражены полупроводниковые свойства. Удельное электрическое сопротивление $2.3 \cdot 10^6$ мкОм·м. |

| *Химические свойства* | |
|---|---|
| Кальций – типичный металл. Проявляет высокую химическую активность даже при нормальных условиях. Реакции сопровождаются выделением большого количества тепла. Кальций вытесняет водород из воды и разбавленных кислот. В обычных условиях взаимодействует с кислородом, галогенами. С менее активными неметаллами (азот, сера, селен, водород и др.) реакция происходит при умеренном нагревании. Кальций – сильный восстановитель. Его соединения обладают исключительно основными свойствами. | Кремний – типичный неметалл. В нормальных условиях химически инертен и взаимодействует только со фтором, растворами щелочей и смесью азотной и плавиковой кислот. Мелкоизмельченные образцы более реакционно способны, чем компактные кристаллы. Расплавленный кремний проявляет высокую химическую активность. Кремний является сильным восстановителем. |
| ***Электроотрицательность по Оллреду-Рохову:*** 1.04 | ***Электроотрицательность по Оллреду-Рохову:*** 1.2 |
| ***Степени окисления:***<br>**0** (Ca)<br>**+2** (степень окисления, которую проявляет кальций во всех своих соединениях: $CaO$, $CaCO_3$, $Ca(NO_3)_2$ и др.) | ***Степени окисления:***<br>**-4** ($SiH_4$, $Mg_2Si$, $Si(CH_3)_4$ и др.)<br>**0** (Si)<br>**+2** (нестабильная степень окисления – $SiO$)<br>**+4** (наиболее характерная степень окисления – $SiF_4$, $SiO_2$, $K_2SiO_3$ и др.) |
| ***Взаимодействие с кислородом:***<br>$Ca + O_2 \longrightarrow CaO$ | ***Взаимодействие с кислородом:*** 600°C<br>$Si + O_2 \longrightarrow SiO_2$ |
| ***Взаимодействие с галогенами:***<br>$Ca + Hal_2 \rightarrow CaHal_2$, где $Hal_2 = F_2, Cl_2, Br_2, I_2$ | ***Взаимодействие с галогенами:***<br>$Si + 2F_2 \rightarrow SiF_4$ (реакция идет даже на холоду)<br>$Si + 2Cl_2 \xrightarrow{400°C} SiCl_4$<br>$Si + 2Br_2 \xrightarrow{400°C} SiBr_4$ |
| ***Взаимодействие с азотом:***<br>$3Ca + N_2 \rightarrow Ca_3N_2$ | ***Взаимодействие с азотом:*** 1000°C<br>$3Si + 2N_2 \longrightarrow Si_3N_4$ |
| ***Взаимодействие с углеродом:*** 1000°C<br>$Ca + 2C \longrightarrow CaC_2$ | ***Взаимодействие с углеродом:*** 2000°C<br>$Si + C \longrightarrow SiC$ |
| ***Взаимодействие с водородом:***<br>$Ca + H_2 \xrightarrow{t} CaH_2$ | ***Взаимодействие с водой:*** При высоких температурах и давлении возможна реакция с водяным паром:<br>$Si + 3H_2O_{(г)} \longrightarrow H_2SiO_3 + 2H_2$ |
| ***Взаимодействие с водой:***<br>$Ca + 2H_2O \longrightarrow Ca(OH)_2 + H_2$ | ***Взаимодействие с кислотами:*** кремний не взаимодействует с минеральными кислотами. При нормальных условиях реагирует со смесью плавиковой (HF) и азотной ($HNO_3$) кислот:<br>$3Si + 4HNO_3 + 18HF \rightarrow 3H_2[SiF_6] + 4NO + 8H_2O$.<br>Азотная кислота в данной реакции играет роль окислителя, а плавиковая кислота является комплексообразующей средой. |

***Взаимодействие с кислотами:*** кальций энергично взаимодействует с минеральными кислотами:

$$Ca + 2HCl \rightarrow CaCl_2 + H_2.$$

При взаимодействии кальция с кислотами-окислителями протекает их восстановление:

$$4Ca + 10HNO_{3\,(разб)} \rightarrow 4Ca(NO_3)_2 + NH_4NO_3 + 3H_2O.$$

***Взаимодействие со щелочами:*** реакция происходит при нормальных условиях:

$$Si + 2NaOH + H_2O \rightarrow Na_2SiO_3 + 2H_2.$$

***Взаимодействие с металлами:*** кальций образует непрерывные твердые растворы со стронцием и барием. С s- и p- элементами и цинком кальций образует интерметаллические соединения.

***Взаимодействие с металлами:*** при высоких температурах кремний взаимодействует с различными металлами, образуя множество ***силицидов*** различного состава ($Ti_5Si_3$, TiSi, $TiSi_2$, $Mo_3Si$, $Mo_5Si_3$, MoSi, $MoSi_2$, $Ca_2Si$, CaSi, $CaSi_2$ и др.).

## Соединения кальция и кремния

**Оксид кальция (CaO)**. *Негашеная (жженая) известь.* Тугоплавкое, термически устойчивое кристаллическое вещество белого цвета. Гигроскопичный. Энергично взаимодействует с водой с образованием гидроксида кальция и выделением большого количества тепла:

$$CaO_{(Кр.)} + H_2O_{(Ж.)} \rightarrow Ca(OH)_{2\,(Кр.)} \quad \Delta H° = -64кДж.$$

Оксид кальция проявляет основные свойства, взаимодействуя с кислотами и кислотными оксидами:

$$CaO + 2HCl \rightarrow CaCl_2 + H_2O$$

$$CaO + CO_2 \rightarrow CaCO_3$$

Промышленное получение оксида кальция основано на термическом разложении карбоната кальция:

$$CaCO_{3\,(Кр.)} \rightarrow CaO_{\,(Кр.)} + CO_{2\,(Г)} \quad \Delta H° = 178кДж$$

Реакцию ведут при температуре 800-900°C.

**Гидроксид кальция ($Ca(OH)_2$).** *Гашеная известь.* Кристаллическое вещество белого цвета. При нагревании разлагается без плавления:

$$Ca(OH)_2 \xrightarrow{520\text{-}580°C} CaO + H_2O.$$

Плохо растворим в воде ($ПР = 5.5 \cdot 10^{-6}$) с образованием слабощелочного раствора (в насыщенном растворе pH = 12). Растворимость гидроксида кальция с ростом температуры уменьшается.

Проявляет основные свойства, взаимодействуя с кислотами и кислотными оксидами:

$$Ca(OH)_2 + 2HNO_3 \rightarrow Ca(NO_3)_2 + 2H_2O;$$

$$Ca(OH)_2 + SO_2 \rightarrow CaSO_3.$$

**Диоксид кремния ($SiO_2$).** *Кремнезем.* Наиболее характерное и устойчивое кислородное соединение кремния. Имеет несколько модификаций, отличающихся между собой взаимным расположением кремнийкислородных тетраэдров. В природе $SiO_2$ чаще всего встречается в виде кварца. При высокой температуре (свыше 1723°C) кремнезем плавится. При быстром охлаждении расплава образуется кварцевое стекло с беспорядочным расположением кремнийкислородных тетраэдров.

Диоксид кремния является типичным кислотным оксидом. При кипячении он растворяется в концентрированных растворах щелочей с образованием силикатов:

$$SiO_2 + 4KOH_{\,(Конц.)} \rightarrow K_4SiO_4 + 2H_2O.$$

***Силикаты*** образуются также при сплавлении кремнезема со щелочами, основными оксидами и карбонатами.

$$SiO_2 + CaO \rightarrow CaSiO_3$$

$$SiO_2 + 2NaOH \rightarrow Na_2SiO_3$$

$$SiO_2 + Na_2CO_3 \rightarrow Na_2SiO_3 + CO_2$$

В отличие от многих кислотных оксидов диоксид кремния не взаимодействует с водой.

Характерной особенностью кремнезема является взаимодействие с плавиковой кислотой:

$$SiO_2 + 6HF_{\,(Конц.)} \rightarrow H_2[SiF_6] + 2H_2O.$$

Поглощает углекислый газ из воздуха:

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3.$$

Получают гидроксид кальция путем взаимодействия оксида кальция с водой.

**Карбонат кальция ($CaCO_3$).** *Кальцит.* Белое вещество. При нагревании разлагается с образованием оксида кальция с углекислого газа. Практически нерастворим в воде (ПР = $4.8 \cdot 10^{-9}$). Разлагается кислотами:

$$CaCO_3 + 2HCl \rightarrow CaCl_2 + H_2O + CO_2\uparrow;$$

$$CaCO_3 + 2CH_3COOH \rightarrow Ca(CH_3COO) + H_2O + CO_2\uparrow.$$

Переводится в раствор под воздействием углекислого газа:

$$_{(Кр.)} + H_2O_{(Ж)} + CO_{2\,(Г)} \rightarrow Ca(HCO_3)_{2\,(р\text{-}р.)}.$$

В результате образуется легкорастворимый в воде гидрокарбонат кальция. Данная реакция протекает при углекислотной коррозии цементного камня, мрамора и приводит к разрушению изделий из них.

Карбонат кальция широко распространен в природе (кальцит и его разновидности: известковый шпат, известняк, мрамор, мел). Карбонат кальция является составной частью доломита $CaMg(CO_3)_2$. Соединения $CaCO_3$ находят большое применение в строительстве в качестве облицовочных и архитектурно-строительных материалов.

**Сульфат кальция ($CaSO_4$).** *Гипс.* Белое гигроскопичное вещество. Термически стойкий. При плавлении разлагается:

$$2CaSO_4 \xrightarrow{1450°C} 2CaO + SO_2 + O_2.$$

В обычных условиях образует кристаллогидрат состава $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, который обезвоживается при повышении температуры:

$$CaSO_4 \cdot 2H_2O \xleftrightarrow{100\text{-}128°C} CaSO_4 \cdot 0.5H_2O \xleftrightarrow{163\text{-}200°C} CaSO_4$$

гипс (дигидрат) — жженый гипс (гемигидрат) — ангидрит

Плохо растворим в воде (ПР = $6.1 \cdot 10^{-5}$).

Сульфат кальция в виде минералов гипса и ангидрита распространен в природе.

***Кремниевые кислоты ($SiO_2 \cdot nH_2O$)*** Белые, аморфные, стекловидные вещества, представляющие собой неорганические полимеры, основным структурным фрагментом которых является кремнийкислородный тетрадр $[SiO_4]^{4-}$. Молекулярная формула $H_2SiO_3$ не отражает реального строения кремниевых кислот, поскольку кремний не образует устойчивых кратных связей Si = O. Правильной является запись формулы в виде гидратированного диоксида кремния $SiO_2 \cdot nH_2O$.

Кремниевые кислоты очень мало растворимы в воде и относятся к слабым кислотам. Термически неустойчивы и разлагаются при нагревании с отщеплением воды:

$$SiO_2 \cdot nH_2O \rightarrow SiO_2 + nH_2O.$$

Получают кремниевые кислоты вытеснением из растворимых силикатов более сильными кислотами:

$$Na_4SiO_4 + 4HCl + (n\text{-}2)H_2O \rightarrow SiO_2 \cdot nH_2O\downarrow + 4NaCl.$$

ортосиликат натрия

На первой стадии процесса образуется мономерная ортокремниевая кислота:

$$Na_4SiO_4 + 4HCl \rightarrow H_4SiO_4 + 4NaCl.$$

Молекулы ортокремниевой кислоты взаимодействуют друг с другом (конденсируются) с образованием дикремниевых кислот, соединяющихся между собой с образованием длинных цепочек из тетраэдров $[SiO_4]^{4-}$ и более сложных структур. Этот процесс приводит к образованию гидрозоля, состав которого можно выразить формулой $(H_2SiO_3)_n$. При стоянии кремниевые кислоты выпадают в виде студенистого осадка – силикагеля, имеющего формулу $SiO_2 \cdot nH_2O$, где $n<2$.

Кремниевые кислоты обладают малой реакционной способностью. Наиболее характерное их свойство - взаимодействие со щелочами:

$$SiO_2 \cdot nH_2O + 4NaOH_{(конц.)} \rightarrow Na_4SiO_4 + (2+n)H_2O.$$

***Силикаты*** – твердые, бесцветные, тугоплавкие вещества. Большая их часть нерастворима в воде, исключение – силикаты щелочных металлов, из которых наибольшее значение имеет силикат натрия ($Na_2SiO_3$) – «растворимое стекло». Его водные растворы («жидкое стекло») имеют высокую вязкость и обладают клеящими свойствами.

**Алюмосиликаты** и силикаты натрия, калия, кальция, магния, алюминия и железа самые распространенные минералы земной коры, составляют основную часть горных пород и продуктов их выветривания.

## Вопросы для контроля

**1.** Наличие в воде, используемой в технологии бетонных работ растворимых сульфатов и хлоридов приводит к неконтролируемому изменению сроков схватывания и твердения бетона, вызывает коррозию цементного камня и стальной арматуры в железобетоне. По этой причине содержание сульфат-ионов ($SO_4^{2-}$) не должно превышать 2.7 г/л, а хлорид ионов ($Cl^-$) – 1.2 г/л. Пригодна ли для изготовления бетона вода, содержащая:

**1.1** 0.015 моль/л $MgCl_2$ и 0.020 моль/л $MgSO_4$?

**1.2** 0.012 моль/л $MgCl_2$ и 0.032 моль/л $MgSO_4$?

**1.3** 0.021 моль/л $MgCl_2$ и 0.017 моль/л $MgSO_4$?

**2.** Для получения каустического доломита (магнезиального вяжущего вещества) природный доломит прогревают при температуре 650–750°С. При этом протекает следующая химическая реакция: $MgCO_3 \cdot CaCO_3 \rightarrow MgO \cdot CaCO_3 + CO_2\uparrow$. Рассчитайте массовую долю магния в природном и каустическом доломите. Что произойдет при прогревании природного доломита при более высокой температуре?

**3.** Почему карбонат кальция легко растворяется в соляной кислоте и практически нерастворим в серной кислоте? Ответ подтвердите.

**4.** Растворы жидкого стекла, используемые в строительстве, содержат от 50 до 70% воды и имеют плотность от 1.3 до 1.5 г/см$^3$. а) Рассчитайте молярную концентрацию данных растворов, считая, что растворенным веществом является метасиликат натрия $Na_2SiO_3$. б) Какую среду: кислую, нейтральную или щелочную имеет раствор жидкого стекла? в) Почему растворы жидкого стекла нельзя долго хранить на воздухе? Запишите уравнение реакции метасиликата натрия с углекислым газом воздуха.

**5.** Для получения рентгенозащитных строительных растворов используют портландцемент и баритовый песок ($BaSO_4$) с добавкой соединений лития или бора. Между тем известно, что ионы $Ba^{2+}$ обладают ярко выраженным токсическим действием. Объясните, почему использование сульфата бария в качестве заполнителя строительных растворов не требует ограничений, а сам раствор полностью экологически безопасен. Рассчитайте, в каком объеме воды можно растворить 1 грамм сульфата бария, если величина произведения растворимости (ПР) $BaSO_4$ равна $1.1 \cdot 10^{-10}$.

**ТЕСТ «Химические свойства соединений кальция и кремния»**

***1. В состав сырья для получения оконного стекла входят:***
**1)** $CaCO_3$; **2)** $Na_2CO_3$; **3)** $SiO_2$;
**4)** $Ca(OH)_2$; **5)** $Al_2O_3 \cdot nH_2O$.

***2. В составе оконного стекла содержатся:***
**1)** $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$, **2)** $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$, **3)** $3CaO \cdot Al_2O_3$,
**4)** $Na_2O \cdot SiO_2$, **5)** $Na_2O \cdot CaO \cdot 6SiO_2$.

***3. В состав сырья для получения оконного стекла могут входить:***
**1)** известняк; **2)** глина; **3)** кварцевый песок;
**4)** каолин; **5)** сода.

***4. Сырьём для получения оконного стекла являются:***
**1)** мел; **2)** глина; **3)** песок; **4)** гипс; **5)** боксит.

***5. Сырьём для получения оконного стекла могут являться:***
**1)** $CaCO_3$; **2)** $K_2CO_3$; **3)** $SiO_2$; **4)** $CaO$; **5)** $Al_2O_3 \cdot nH_2O$.

***6. В составе оконного стека содержатся минералы:***
**1)** $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$; **2)** $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$; **3)** $3CaO \cdot Al_2O_3$;
**4)** $2CaO \cdot SiO_2$; **5)** $Na_2O \cdot CaO \cdot 6SiO_2$.

***7. Какой цвет придаёт стеклу добавка $Cr_2O_3$:***
**1)** жёлтый; **2)** синий; **3)** изумрудно-зелёный;
**4)** фиолетовый; **5)** желто-коричневый.

***8. Природная глина может содержать минералы формул:***
**1)** $Al_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot 2H_2O$; **2)** $CaCO_3$; **3)** $SiO_2$;
**4)** $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$; **5)** $Na_2O \cdot CaO \cdot 6SiO_2$.

***9. Компонентами сырьевой смеси для получения фарфора могут быть:***
**1)** каолин; **2)** сода; **3)** кварцевый песок;
**4)** полевой шпат; **5)** мел.

***10. В состав красного керамического кирпича входят:***
**1)** $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$; **2)** $SiO_2$; **3)** $Fe_2O_3$;
**4)** $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$; **5)** $3CaO \cdot Al_2O_3$.

***11. Компонентами сырьевой смеси для получения фарфора могут быть:***
**1)** каолин; **2)** сода; **3)** кварцевый песок; **4)** полевой шпат; **5)** мел.

***12. В состав глины входят минералы формул:***
**1)** $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$; **2)** $3CaO \cdot Al_2O_3$; **3)** $SiO_2$;
**4)** $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$; **5)** $2CaO \cdot SiO_2 \cdot nH_2O$.

***13. Природная глина может содержать минералы формул:***
**1)** $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$; **2)** $Fe(OH)_3$; **3)** $SiO_2$;
**4)** $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$; **5)** $3CaO \cdot Al_2O_3$.

***14. Состав коалинита, входящего в сырьё для получения керамики, отражается формулой:***
**1)** $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$; **2)** $2CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 8H_2O$; **3)** $CaCO_3$;
**4)** $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot nH_2O$; **5)** $2CaO \cdot SiO_2 \cdot nH_2O$.

***15. Компонентами сырьевой смеси для получения красного керамического кирпича и кровельной керамической черепицы могут быть:***
**1)** глинозём; **2)** сода; **3)** кварцевый песок;
**4)** глина; **5)** муллит.

***16. Компонентами сырьевой смеси для получения керамических изделий могут быть:***
**1)** глинозём; **2)** известняк; **3)** кварцевый песок;
**4)** гипс; **5)** полевой шпат.

***17. Компонентами сырьевой смеси для получения фаянса могут быть:***
**1)** каолин; **2)** сода; **3)** кварцевый песок;
**4)** полевой шпат; **5)** мел.

***18. В состав фарфора входят минералы:***
**1)** $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$; **2)** $SiO_2$; **3)** $2Al_2O_3 \cdot 3SiO_2$;
**4)** $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$; **5)** $3CaO \cdot Al_2O_3$.

***19. На цвет обожжённых образцов керамических изделий влияет наличие в глине оксидов и гидроксидов:***
**1)** алюминия; **2)** кремния; **3)** железа;
**4)** кальция; **5)** калия.

***20. К воздушным вяжущим относятся:***
**1)** глинозёмистый цемент; **2)** магнезиальный цемент;
**3)** ангидритовый цемент; **4)** портландцемент;
**5)** гипсоцементопуццолановое вяжещее.

Дата _____

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 14 «Коррозия бетона и минеральных строительных материалов»

| Задание | Методика выполнения и результаты |
|---|---|
| **Изучение основ физико-химических процессов коррозии минеральных строительных материалов.**<br>**1. Изучение агрессивного воздействия разбавленных неорганических и органических кислот на минеральные материалы.**<br>а) Поместите в пробирку (или в химический стакан) небольшой образец мрамора. Добавьте 5 мл 0,1М раствора серной кислоты $H_2SO_4$ (иммитация «кислотного дождя»), которая превращает карбонат кальция в растворимый гипсовый камень.<br>$CaCO_3 + H_2SO_4 + H_2O \rightarrow CaSO_4 \bullet 2H_2O + CO_2$ | **1.** Изучение агрессивного воздействия разбавленных неорганических и органических кислот на минеральные материалы.<br>а) Запишите свои наблюдения и уравнение реакции. Объясните, почему наблюдаемый процесс химической коррозии усиливается коррозией физической, учитывая, что образующийся гипс увеличивается в объеме на 10–15%. |
| б) Повторите опыт с мрамором, используя в качестве агрессивной среды:<br>– разбавленную соляную кислоту (HCl);<br>– разбавленную азотную кислоту ($HNO_3$);<br>– разбавленную уксусную кислоту ($CH_3COOH$);<br>– другие разбавленные органические кислоты по заданию преподавателя. | б) Запишите свои наблюдения (интенсивность и скорость процесса в каждом случае) и уравнение реакции.<br>в) Сделайте вывод, какая из разбавленных кислот в качестве «кислотного дождя» является более агрессивной средой для мрамора. |

| | |
|---|---|
| **2. Изучение процессов коррозии строительных материалов под действием минеральных удобрений и солевых антифризов.**<br>Сульфат аммония $(NH_4)_2SO_4$ является широко используемым азотным удоб-рением. При повышении температуры возможно его взаимодействие с гидроксидом кальция $Ca(OH)_2$, входящим в состав строительных материалов по схеме:<br>$(NH_4)_2SO_4 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaSO_4 \bullet 2H_2O + 2NH_3\uparrow$<br>а) Поместите в пробирку 2-3 микрошпателя сульфата аммония $(NH_4)_2SO_4$ и добавьте 5 мл насыщенного раствора $Ca(OH)_2$. Аккуратно нагрейте содержимое пробирки в пламени горелки (или на водяной бане), отмечая происходящие в ней изменения. Запишите уравнение реакции и свои наблюдения. (ОПЫТ ПРОВОДИТЬ В ВЫТЯЖНОМ ШКАФУ!) | **2.** Изучение процессов коррозии строительных материалов под действием минеральных удобрений и солевых антифризов.<br>а) Запишите уравнение реакции и свои наблюдения.<br><br>б) Сделайте вывод, к каким последствиям может привести образование данных продуктов реакции. Каковы причины возможного коррозионного разрушения строительных материалов в этом случае? |
| **3. Коррозия под действием магнезиальных природных вод.**<br>Практическая нерастворимость образующегося основного продукта реакции магнезиальной коррозии – $Mg(OH)_2$ приводит к тому, что любая растворимая в воде соль магния при действии на материалы, содержащие $Ca(OH)_2$, обусловливает их разрушение по одному и тому же механизму:<br>$MgCl_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaCl_2 + Mg(OH)_2\downarrow$ | **3.** Коррозия под действием магнезиальных природных вод.<br>а) Запишите уравнение реакции и свои наблюдения. |

| | |
|---|---|
| а) Поместите в пробирку небольшой образец цементного бетона, силикатного кирпича (или другого материала по заданию преподавателя). При помощи измерительного цилиндра отмерьте и добавьте в пробирку с образцом 5 мл 0,5М раствора хлорида магния ($MgCl_2$). Аккуратно нагрейте содержимое пробирки в пламени горелки (или на водяной бане) отмечая происходящие в ней изменения. | б) Сделайте вывод, почему приведенная реакция является практически необратимой и какой механизм коррозионного разрушения строительных материалов имеет место в этом случае. |
| **4. Изучение агрессивного воздействия растворов щелочей на керамические материалы.**<br>а) Поместите в пробирку небольшой образец керамического кирпича или плитки (по заданию преподавателя). При помощи измерительного цилиндра отмерьте и добавьте в пробирку с образцом 5 мл 2М раствора гидроксида натрия (NaOH). Аккуратно нагрейте содержимое пробирки в пламени горелки (или на водяной бане), отмечая происходящие в ней изменения. | **4.** Изучение агрессивного воздействия растворов щелочей на керамические материалы.<br>а) Запишите уравнение реакции и свои наблюдения.<br><br>б) Сделайте вывод, какой механизм коррозионного разрушения керамических материалов имеет место в проведенном опыте. |
| | Подпись преподавателя _____ |

## ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

**Коррозия бетона** – это процесс разрушения строительных материалов и конструкций под влиянием определенных физических, химических и биологических внешних и внутренних факторов.

**Коррозия бетона** почти всегда начинается с цементного камня (затвердевшего цемента), стойкость которого обычно меньше, чем каменных заполнителей. Цементный камень состоит из химических соединений, образовавшихся в процессе его твердения (двух- и трёхкальциевого силикатов, алюминатов и алюмоферритов кальция). В нем также имеются открытые и закрытые капиллярные ходы и поры, заполненные воздухом или водой. Агрессивными по отношению к цементному камню могут быть речные, морские, грунтовые, дренажные, сточные воды, а также находящиеся в воздухе кислые газы.

Факторы, воздействующие на здания и сооружения, можно разделить на *внешние* (природные и искусственные) и *внутренние* (технологические и функциональные).

К ***внешним воздействиям*** относятся: температура, радиация (в том числе солнечная), воздушные потоки (ветер), осадки и влага (дождь, град, снег), химические вещества, грозовые разряды, электромагнитные волны и блуждающие токи, звуковые колебания (шум), вибрация, биологические вредители, давление грунта, сейсмические волны и т.д.

К ***внутренним воздействиям*** относятся: нагрузки постоянные, временные и кратковременные (собственный вес, оборудование, мебель, люди и т.д.); технологический (функциональный) процесс (удары, вибрации, истирания, работа оборудования, пролив жидкости и т.д.); колебания температуры и влажности; химические вещества; биологические вредители.

***Долговечность*** материалов, конструкций и зданий (сооружений) в целом определяется временем, в течение которого они сохраняют свои эксплуатационные качества на заданном уровне. Различают *физическую* и *моральную* долговечность и обратные им понятия – ***физический*** и ***моральный износ***.

Физический износ обусловлен:

– силовыми воздействиями нагрузок, вызывающих объемное напряженное состояние материала или конструкции;

– агрессивным воздействием окружающей среды.

***Агрессивной*** является среда, под воздействием которой изменяется структура и свойства материалов конструкций, что приводит к непрерывному снижению их прочности и, соответственно, к постепенному разрушению.

Совокупность самопроизвольных процессов взаимодействия материала с агрессивной окружающей средой, приводящих к постепенному изменению его свойств и в конечном итоге – разрушению, называют ***коррозией материала***.

Вещества и явления, способствующие разрушению материала, называются ***стимуляторами***, содействующими коррозии. Вещества, замедляющие коррозионное разрушение, называют ***ингибиторами коррозии***.

Агрессивность и пассивность окружающей среды не имеет универсального характера, т.е. при одних условиях определенная среда может быть коррозионно агрессивной, при других – она же благоприятна. Так, теплый влажный воздух агрессивен для большинства металлов и сплавов, а для цементного бетона наоборот благоприятен, так как упрочняет его.

Коррозионное разрушение строительных материалов носит разнообразный характер: химический, физический, физико-химический.

*По* ***агрегатному состоянию*** агрессивные коррозионные среды бывают газовые, жидкие и твердые.

***Газовая среда*** – это оксиды азота (NO, $NO_2$), углекислый газ ($CO_2$), сернистый газ ($SO_2$) и др.

***Жидкая среда*** – это растворы кислот, щелочей, солей, масла, нефть, растворители и др.

***Твердая среда*** – это пыль, грунты, осадки химических производств, продуктов сгорания топлива и т.п.

Все виды коррозионных процессов минеральных материалов можно условно объединить в четыре группы: ***физические, физико-химические, химические и биологические***.

К числу ***физических воздействий***, вызывающих коррозию минеральных материалов, относят их попеременное увлажнение и высыхание, которое сопровождается деформациями усадки и набухания материала; отложение растворимых солей в порах материала; попеременное замерзание и оттаивание и другие температурные воздействия, процессы кристаллизации-гидратации-растворения. В связи с этим необходимо учитывать два основных условия, приводящие к возникновению этого вида коррозии:

1. Наличие в грунте более 1% масс. водорастворимых солей (особенно $Na_2SO_4$, $MgSO_4$ и др.) или высокий уровень грунтовых вод с минерализацией не менее 3000 мг/л.

2. Теплота и сухость климата (дневные летние температуры 28–30°С и выше при относительной влажности воздуха 45% и менее).

**Физико-химическая коррозия** – вид разрушения минеральных материалов происходит в основном из-за ***выщелачивания*** и ***осмотических явлений.*** *Коррозия выщелачивания*, характерная для бетонов, обусловливается тем, что все составляющие цементного камня, в первую очередь, гидроксид кальция $Ca(OH)_2$ растворяются в воде. *Осмотические явления* обусловлены тем что, цементный камень способен проявлять свойства, характерные для полупроницаемых перегородок (мембран). Вследствие осмоса растворитель будет проникать со стороны менее концентрированного раствора в более концентрированный до выравнивания концентрации растворов по обе стороны перегородки. Если раствор находится в замкнутой ячейке, окруженной полупроницаемой пленкой, внутри этой ячейки возникает осмотическое давление, стремящееся разорвать ее стенки.

**Химическая коррозия** – вид разрушения минеральных материалов кислотами, щелочами, растворами солей, различными органическими соединениями, всеми агрессивными газами; а так же биологические процессы, в результате которых образуются активные в химическом отношении продукты жизнедеятельности, приводящие к коррозии строительных конструкций.

*Коррозионная активность кислот* определяется их природой, концентрацией, pH водных растворов, наличием окислительных свойств, а также температурой среды. Процесс разрушения бетона в кислой среде протекает в форме реакций замещения. Процесс коррозии бетона идет и в растворах некоторых типов гидролизующихся солей, образованных катионом слабого основания и анионом сильной кислоты (например, $Al_2(SO_4)_3$, $FeCl_3$, $(NH_4)_2SO_4$ и т.п.).

Агрессивно действуют на бетон и растворы щелочей, например NaOH, KOH, $NH_4OH$ и др., а также растворы солей, гидролизующихся с образованием ионов $OH^-$ ($Na_2CO_3$, $K_3PO_4$ и т.п.).

***Биологическая коррозия*** — это процессы повреждения бетона, вызванные продуктами жизнедеятельности живых организмов (бактерии, грибы, мхи, лишайники и микроорганизмы), поселяющихся на поверхности строительных конструкций.

Различают два основных случая биокоррозии:

1) биоорганизмы находятся в непосредственном контакте с наружной или внутренней (для пористых материалов) поверхностью строительной конструкции. В процессе метаболизма они взаимодействуют с материалом, в результате чего снижается прочность или ухудшаются другие эксплуатационные качества материала (происходит повреждение материала и сокращение сроков его службы);

2) биоорганизмы являются продуцентами веществ, агрессивных по отношению к строительному материалу, но непосредственно со строительной конструкцией не связаны. Коррозионные процессы могут развиваться на расстоянии от места обитания биоорганизмов, вырабатывающих агрессивные вещества.

## Причины коррозии

Бетон имеет капиллярно-пористую структуру и подвержен наибольшему воздействию агрессивных сред в сравнении с другими материалами.

Таблица 1 – Признаки, причины и степень опасности коррозии бетона и железобетона

| Вид коррозионного повреждения | Признаки коррозии | Степень опасности коррозионного повреждения | Меры защиты |
|---|---|---|---|
| 1. Морозная деструкция бетона | Шелушение поверхности, наличие на поверхности бетона сетки трещин, полное разрушение. | В зависимости от глубины деструкции бетона и массивности конструкции снижение несущей способности конструкции вплоть до обрушения. | Замена разрушенных слоёв бетона новым доброкачественным бетоном. |
| 2. Коррозия бетона в агрессивной газовой среде (оксиды серы, азота) | Увеличение объёма наружных слоёв бетона с образованием рыхлого слоя, не имеющего прочности. Чёткая граница между повреждённым и неповреждённым слоем бетона. | Снижение сечения конструкции, коррозия и полное разрушение стальной арматуры. | Удаление продуктов коррозии и восстановление сечения стальной арматуры и бетона. |
| 3. Коррозия бетона в растворах кислот | Увеличение объёма наружных слоёв бетона с образованием рыхлого слоя, не имеющего прочности. Чёткая граница между повреждённым и неповреждённым слоем бетона. Коррозия арматуры. | Снижение сечения конструкции, коррозия и полное разрушение стальной арматуры. | Удаление продуктов коррозии и восстановление сечения стальной арматуры и бетона. |
| 4. Внутренняя коррозия бетона (*) | Образование сетки трещин, отделение кусков растворной части бетона и зёрен заполнителя. В отдельных случаях появление на поверхности капель вязкого геля силикатов щелочных металлов, образовавшихся в результате коррозионного процесса. | Процесс развивается во всём объёме бетона, что вызывает сильное снижение несущей способности конструкции. | Высушивание бетона или замена конструкции. |
| 5. Коррозия стальной арматуры | Наличие на поверхности железобетонной конструкции пятен ржавчины, образование трещин вдоль арматурных стержней. Причиной коррозии арматуры является карбонизация защитного слоя или проникание в бетон солей хлоридов. | Опасна снижением рабочего сечения арматурных стержней, потерей сцепления арматуры с бетоном, сильным снижением несущей способности железобетонных конструкций вплоть до обрушения. | Восстановление сечения арматуры приваркой арматурных стержней, восстановление защитного слоя бетона. |
| 6. Электрокоррозия стальной арматуры | Наличие на поверхности железобетонной конструкции пятен ржавчины, образование трещин вдоль арматурных стержней. Обрыв арматуры, концы стержней острые. | Быстрое снижение сечения арматурных стержней вплоть до обрыва. | Удаление источника тока, электрическая изоляция, замена повреждённой арматуры на новую. |
| 7. Биологическая коррозия штукатурки и бетона (поражение грибами) | Увеличение объёма наружного слоя штукатурки или бетона, образование на поверхности рыхлого не имеющего прочности слоя, изменение цвета (тёмно-серый, чёрный, коричневый). | Разрушение наружных слоёв штукатурки и бетона, утрата декоративных качеств конструкции. | Удаление продуктов коррозии, обработка биоцидами, восстановление утраченного слоя с применением биоцидов. |
| 8. Биологическая коррозия, вызванная тионовыми бактериями в сероводородной среде | Увеличение объёма наружного слоя штукатурки или бетона, образование на поверхности рыхлого не имеющего прочности слоя. Процесс развивается послойно с чёткой границей между здоровым и повреждённым бетоном. | Разрушение наружного слоя бетона при высокой концентрации сероводорода со скоростью до 1 см в год. | Удаление разрушенного слоя, замена его плотным бетоном, нанесение покрытий изолирующего типа. |

Примечание: (*) внутренняя коррозия бетона вызвана взаимодействием реакционноспособного кремнезёма заполнителя со щелочами цемента, добавок, солей из окружающей среды.

## МЕРЫ ПО ЗАЩИТЕ БЕТОНА ОТ КОРРОЗИИ

Для защиты бетона и повышения его долговечности следует применять и первичную, и вторичную защиту.

К методам первичной защиты относится введение различных модифицирующих добавок. Они могут быть пластифицирующие, стабилизирующие, водоудерживающие, а также регулирующие схватывание бетонных смесей, их плотность, пористость и т.д.

К методам вторичной защиты относится нанесение различных защитных покрытий.

• ***Биоцидные материалы*** – уничтожают и подавляют грибковые образования на бетонных конструкциях. Принцип действия заключается в проникновении химически активных элементов в структуру бетона и заполнении ими микротрещин и пор.

• ***Оклеечные покрытия*** – применяются при воздействии жидких сред (к примеру, если бетонная свая подтапливается подземными водами), в грунтах, а также в качестве непроницаемого подслоя в облицовочных покрытиях. Это могут быть рулоны нефтебитума, полиэтиленовая плёнка, полиизобутиленовые пластины и т. п.

• ***Уплотняющие пропитки*** – придают бетону высокие гидрофобные свойства, резко повышают водонепроницаемость и снижают водопоглощение материала. Благодаря этим свойствам их применяют в условиях повышенной влажности и в местах, где присутствует необходимость обеспечения специальных санитарно-гигиенических требований.

• ***Лакокрасочные, в том числе акриловые покрытия*** – образуют атмосферостойкую, прочную и долговечную защиту. Например, акриловые материалы предотвращают разрушение, создавая полимерную пленку. Еще одним плюсом подобного метода борьбы с коррозий является защита поверхности от грибков и микроорганизмов.

• ***Лакокрасочные мастичные покрытия*** – используются при воздействии жидких сред, а также при непосредственном контакте бетона с твердой агрессивной средой.

Антикоррозийные покрытия можно применять везде, где существует подобная необходимость для бетона. Конструкции из этих материалов встречаются в полах и стенах жилых помещений, фундаменте, гаражных комплексах, оранжереях, теплицах, очистных сооружениях, коллекторах. Также при выборе защитных средств следует учитывать особенности воздействия среды, возможное физическое и химическое воздействие на бетонные и железобетонные строительные конструкции.

Меры по борьбе с коррозией бетона III вида (сульфатной и сульфаалюминатной) – строгий контроль качества сырья для производства бетонных и железобетонных конструкций (цемента, содержания сульфатов и хлоридов в воде, применяемой для затворения бетонной смеси).

**Вопросы для контроля**

**1.** К каким последствиям может привести высокая временная жесткость воды затворения бетона и железобетона? Приведите уравнение возможной химической реакции.

**2.** Возможна ли магнезиальная коррозия бетонных конструкций контактирующих с грунтовыми водами с содержанием хлорида магния 0,02 моль/кг. Ответ подтвердите расчетами.

**3.** Возможна ли магнезиальная коррозия железобетонных гидротехнических сооружений, контактирующих с морской водой с содержанием сульфата магния 0,15 моль/кг. Ответ подтвердите расчетами.

**4.** Каким образом можно увеличить морозостойкость керамических строительных материалов?

**5.** Какой коррозионный процесс наиболее вероятен при постоянном контакте бетонной конструкции с проточной дистиллированной водой?

**6.** Объясните причину коррозионного разрушения внутренней поверхности плохо теплоизолированных керамических печных труб, вентиляционных колодцев и т.п., вследствие образования жидкого конденсата.

**7.** Как влияет влажность окружающего воздуха на коррозионную стойкость минеральных строительных материалов при контакте с различными газами?

**8.** Почему силикатный кирпич, газосиликатные блоки и другие силикатные материалы нельзя использовать в конструкциях, нагреваемых до температур 600°С и выше? Какой тип коррозии возможен в данном случае?

**9.** Гидрофобизация поверхности фундаментов и цоколей зданий и сооружений способствует или препятствует коррозионному разрушению материалов, из которых они изготовлены? Ответ аргументируйте.

**10.** Как влияет pH коррозионной среды на долговечность керамических плиточных и природных каменных материалов?

**ТЕСТ «Физико-химические основы процессов коррозии минеральных строительных материалов»**

***1. При сульфатной коррозии цементного камня и бетона:***

**1)** растворяются компоненты цементного камня;

**2)** образуются рыхлые компоненты, не обладающие вяжущими свойствами;

**3)** возникают внутренние напряжения, происходит растрескивание цементного камня;

**4)** нерастворимые компоненты цементного камня превращаются в растворимые;

**5)** происходит увеличение объёма вновь образующихся химических соединений.

***2. При углекислотной коррозии цементного камня и бетона:***

**1)** растворяются компоненты цементного камня;

**2)** образуются рыхлые компоненты, не обладающие вяжущими свойствами;

**3)** возникают внутренние напряжения, происходит растрескивание цементного камня;

**4)** нерастворимые компоненты цементного камня превращаются в растворимые;

**5)** происходит увеличение объёма вновь образующихся химических соединений.

***3. При магнезиальной коррозии цементного камня и бетона:***

**1)** растворяются компоненты цементного камня;

**2)** образуются рыхлые компоненты, не обладающие вяжущими свойствами;

**3)** возникают внутренние напряжения, происходит растрескивание цементного камня;

**4)** нерастворимые компоненты цементного камня превращаются в растворимые;

**5)** происходит увеличение объёма вновь образующихся химических соединений;

***4. При сульфоалюминатной коррозии цементного камня и бетона:***

**1)** растворяются компоненты цементного камня;

**2)** образуются рыхлые компоненты, не обладающие вяжущими свойствами;

**3)** возникают внутренние напряжения, происходит растрескивание цементного камня;

**4)** нерастворимые компоненты цементного камня превращаются в растворимые;

**5)** происходит увеличение объёма вновь образующихся химических соединений.

***5. При коррозии цементного камня и бетона под действием минеральных удобрений:***

**1)** растворяются компоненты цементного камня;

**2)** образуются рыхлые компоненты, не обладающие вяжущими свойствами;

**3)** возникают внутренние напряжения, происходит растрескивание цементного камня;

**4)** нерастворимые компоненты цементного камня превращаются в растворимые;

**5)** происходит увеличение объёма вновь образующихся химических соединений.

***6. При коррозии цементного камня и бетона под действием органических кислот:***

**1)** растворяются компоненты цементного камня;

**2)** образуются рыхлые компоненты, не обладающие вяжущими свойствами;

**3)** возникают внутренние напряжения, происходит растрескивание цементного камня;

**4)** нерастворимые компоненты цементного камня превращаются в растворимые;

**5)** происходит увеличение объёма вновь образующихся химических соединений.

***7. При коррозии цементного камня и бетона под действием неорганических кислот:***

**1)** растворяются компоненты цементного камня,

**2)** образуются рыхлые компоненты, не обладающие вяжущими свойствами,

**3)** возникают внутренние напряжения, происходит растрескивание цементного камня,

**4)** нерастворимые компоненты цементного камня превращаются в растворимые,

**5)** происходит увеличение объёма вновь образующихся веществ.

***8. При физической коррозии (коррозии I вид 1) цементного камня и бетона:***

**1)** растворяются компоненты цементного камня;

**2)** образуются рыхлые компоненты, не обладающие вяжущими свойствами;

**3)** возникают внутренние напряжения, происходит растрескивание цементного камня;

**4)** происходит вымывание составляющих цементного камня;

**5)** происходит увеличение объёма вновь образующихся химических соединений.

***13. Эстрих-гипс ($CaSO_4$•$CaO$) получают из:***

**1)** известняка; **2)** строительного гипса;

**3)** природного гипса; **4)** ангидрита, угля.

**14. *В состав сырья для получения клинкера портландцемента входят:***

**1)** $CaCO_3$; **2)** $2CaO•SiO_2•nH_2O$; **3)** $3CaO•Al_2O_3$;

**4)** $Al_2O_3•2SiO_2•2H_2O$; **5)** $Al_2O_3•nH_2O$.

**15. *В состав сырья для получения клинкера глиноземистого цемента входят:***

**1)** $CaCO_3$; **2)** $2CaO•SiO_2•nH_2O$; **3)** $3CaO•Al_2O_3$;

**4)** $Al_2O_3•2SiO_2•2H_2O$; **5)** $Al_2O_3•nH_2O$.

**16. *В состав известкового теста входит как основной компонент:***

**1)** карбонат кальция; **2)** гидроксид кальция;

**3)** сульфат кальция; **4)** оксид кальция; **5)** гидроксид натрия.

**17. *В состав строительного гипса:***

**1)** на две молекулы сульфата кальция приходится 0,5 молекулы кристаллизационной воды;

**2)** на молекулу сульфата кальция приходится 1,5 молекулы кристаллизационной воды;

**3)** на молекулу сульфата кальция приходится 2 молекулы кристаллизационной воды;

**4)** на две молекулы сульфата кальция приходится 1 молекула кристаллизационной воды;

**5)** не содержится кристаллизационной воды.

**18. *Известковый строительный раствор – это:***

**1)** раствор строительной извести в воде;

**2)** смесь известкового теста с песком;

**3)** смесь известняка с водой;

**4)** смесь извести-пушонки с песком и водой;

**5)** известковое молоко.

**19. *В составе жидкого стекла содержатся:***

**1)** $Na_2O$; **2)** $H_2O$; **3)** $SiO_2$; **4)** $Na_2O•SiO_2$; **5)** $Na_2O•CaO•6\ SiO_2$.

**20. *В продуктах твердения строительной извести присутствуют:***

**1)** $CaO$; **2)** $Ca(OH)_2$; **3)** $CaCO_3$; **4)** $CaSiO_3$; **5)** $CaSiO_4•2H_2O$.

**21. *Твердение жидкого стекла ускоряется:***

**1)** в кислой среде; **2)** в присутствии карбоната натрия;

**3)** в нейтральной среде; **4)** в присутствии кремнефтористого натрия;

**5)** в щелочной среде.

**22. *В каком интервале температур проводят получение строительного гипса из природного гипса?***

**1)** 100–120°C; **2)** 120–170°C; **3)** 200–400°C;

**4)** 600–800°C; **5)** 900–1200°C.

**23. *В составе клинкера портландцемента содержатся:***

**1)** оксиды кальция; **2)** гидроксиды кальция; **3)** силикаты кальция;

**4)** карбонаты кальция; **5)** алюминаты кальция.

**24. *Алюминатные компоненты портландцементного клинкера имеют состав, описываемый формулами:***

**1)** $Al_2O_3•2SiO_2$, **2)** $CaO•Al_2O_3$, **3)** $4CaO•Al_2O_3•Fe_2O_3$,

**4)** $Al_2O_3•2\ SiO_2$, **5)** $3CaO•Al_2O_3$.

## ИТОГОВОЕ ЗАНЯТИЕ № 4

| **Тема: «Физико-химические основы процессов коррозии минеральных строительных материалов»** | **Дата** _____ |
|---|---|

**1.** Определите состав мирабилита, содержащего в основном гидратированный сульфат натрия с небольшой долей нелетучих примесей (3,4% по массе), если при прокаливании до постоянной массы образца минерала (10 г) потеря массы составила 5,4 г.

**2.** Вычислите минимальный расход ($м^3$) воды для гашения извести после прокаливания известняка ($CaCO_3$) массой 10 т с заметной долей инородных примесей.

**3.** Обычным сырьём при варке стекла являются сода ($Na_2CO_3$), известняк ($CaCO_3$) и кремнезём – кварцевый песок ($SiO_2$). Рассчитайте необходимую массу сырья для производства 478 кг стекла, состав которого описывается формулой $Na_2O•CaO•6SiO_2$.

**4.** Какую массу поташа с массовой долей $K_2CO_3$ = 80%, мела с массовой долей $CaCO_3$ = 90% и песка с массовой долей $SiO_2$ = 95% необходимо взять для получения стекла состава $K_2O•CaO•6SiO_2$ массой 300 кг?

**5.** Сколько (мл) соляной кислоты ($\omega$ = 36,5%, $\rho$ = 1,2 г/мл) потребуется для полного разрушения образца цементного порошка массой 40 г состава: $3CaO•SiO_2$ = 55%, $2CaO•SiO_2$ = 25%, $3CaO•Al_2O_3$ = 4%, $4CaO•Al_2O_3•Fe_2O_3$ = 16%?

**6.** В канализационный коллектор, ошибочно построенный из силикатного кирпича, попадают промышленные сточные воды, содержащие HCl в количестве 13 г на $1м^3$ воды. Рассчитать, какое количество извести растворится из кирпичных стен коллектора за месяц его эксплуатации, если за сутки через него проходит 100 $м^3$ сточных кислых вод, а в реакцию вступает 40% содержащейся в них кислоты.

**7.** В канализационный коллектор, ошибочно построенный из силикатного кирпича, попадают промышленные сточные воды, содержащие азотную кислоту в количестве 10 г на $1м^3$ воды. Рассчитать, какое количество извести ($Ca(OH)_2$) растворится из кирпичных стен коллектора за месяц его эксплуатации, если за сутки через него проходит 200 $м^3$ сточных кислых вод, а в реакцию вступает 50% содержащейся в них азотной кислоты.

**8.** Состав минерала асбеста можно выразить формулой $3MgSiO_3•CaSiO_3$ (или в виде оксидов $3MgO•CaO•4SiO_2$). Определить массовую долю оксида кремния в асбесте.

**9.** При обжиге каолиновой глины ($Al_2O_3•SiO_2•2H_2O$), содержащей 12,8% примесей, получено 12 т муллита ($3Al_2O_3•2SiO_2$). Определите массу каолиновой глины, необходимой для данного производства.

**10.** Определите чистоту (%) природного гипса ($CaSO_4•2H_2O$), если при нагревании до 120°С образца минерала массой 20 г потеря массы составила 2,83 г (примеси не содержат воду).

**11.** Сколько вагонов необходимо заказать для перевозки камня природного гипса ($CaSO_4•2H_2O$) к месту переработки для получения эстрих-гипса ($CaSO_4•CaO$) массой 2563 т, в котором доля свободного оксида кальция составляет 16, 39%? Грузоподъёмность вагона-платформы для перевозки камня – 50 т/вагон.

**12.** Для получения извести-пушонки ($Ca(OH)_2$) к негашёной извести (CaO) добавили воду, масса которой составляет 96,4% массы исходной извести. Во сколько раз масса использованной воды превышает массу воды, которая необходима по уравнению реакции гашения?

**13.** Вычислите объём ($м^3$) углекислого газа, выделившегося при обжиге природного магнезита ($MgCO_3$) массой 500 т, в котором доля (%) карбоната магния равна 84%.

**14.** Сколько (кг) кристаллической соды $Na_2CO_3•10H_2O$ потребуется для приготовления силикат-глыбы $Na_2O•2,67SiO_2$ массой 11,1 кг?

**15.** Вычислите массу (кг) известняка (доля карбоната кальция в нём составляет 98%) в исходной шихте для получения глиноземистого цемента ($CaO•Al_2O_3$), если масса железистого боксита $Al_2O_3•nH_2O$ в шихте была равна 1250 кг, а массовая доля оксида алюминия в боксите 40,8%.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Техника лабораторных работ.
### ОБЩИЕ ПРАВИЛА РАБОТЫ В ХИМИЧЕСИХ ЛАБОРАТОРИЯХ

Во время работы в лаборатории студенты обязаны соблюдать следующие правила:

1. Студенту в лаборатории отводится постоянное место, и он обязан поддерживать его в чистоте и порядке, а после окончания работы тщательно убирать рабочее место. Все работы, за небольшим исключением, выполняются студентом индивидуально
2. Выполнять указания преподавателей и лаборантов.
3. Необходимые для работы реактивы находятся на полках лабораторных столов. Концентрированные кислоты и пахучие вещества хранятся в вытяжном шкафу.
4. Сухие реактивы необходимо брать чистым шпателем или специальной ложечкой. При наливании растворов из склянок нужно их держать этикеткой вверх во избежание ее загрязнения.
5. Все реакции проводить с такими количествами веществ, которые указаны в описании опыта. Если в руководстве не указано, какое количество необходимо взять, следует брать сухие вещества в небольших количествах – на кончике шпателя или ложечки, а растворы – объемом 1-1,5 мл.
6. Неизрасходованные реактивы нельзя выливать обратно в склянки.
7. Остатки дорогостоящих и ядовитых реактивов необходимо сливать в специальные склянки.

**Меры предосторожности при работе в лаборатории**

1. Все опыты с ядовитыми, неприятно пахнущими веществами и концентрированными растворами проводить только в вытяжном шкафу.
2. Опыты с легковоспламеняющимися веществами необходимо проводить вдали от огня.
3. Не наклоняться над нагреваемой жидкостью или сплавляемыми веществами во избежание попадания брызг на лицо.
4. Не следует вдыхать пахучие вещества и выделяющиеся газы, близко наклоняясь к сосуду с этими веществами. Струю газа от отверстия сосуда следует направить к себе легким движением руки, вдыхая осторожно.
5. При работе с твердыми щелочами и металлическим натрием обязательно надеть защитные очки.
6. При разбавлении концентрированных кислот (особенно серной) нельзя наливать воду в кислоту, можно осторожно при перемешивании наливать кислоту в воду.
7. Пробирку, закрепленную в пробиркодержателе, при нагревании растворов в ней следует держать таким образом, чтобы ее отверстие не было направлено в сторону студента и его соседей по рабочему столу.
8. Необходимо следить за правильной работой газовых горелок и закрывать все газовые краны после окончания работы.

**Оказание первой помощи в лаборатории**

1. При попадании на кожу концентрированных кислот следует немедленно промыть обожженное место сильной струей водопроводной воды, после чего наложить повязку из ваты или бинта, смоченную или раствором гидрокарбоната натрия, или раствором таннина. При попадании на кожу концентрированных щелочей следует немедленно промыть обожженное место сильной струей водопроводной воды, после чего наложить повязку из ваты или бинта, смоченную раствором борной кислоты или раствором таннина. Все указанные выше вещества от ожогов есть в лабораторной аптечке. При сильных ожогах после оказания первой помощи следует немедленно обратиться к врачу.
2. При попадании брызг кислоты или щелочи в глаза необходимо немедленно промыть поврежденный глаз большим количеством воды комнатной температуры, после чего сейчас же обратиться к врачу.

3. При ожоге кожи горячими предметами наложить на обожженное место сначала повязку из спиртового раствора таннина или раствора перманганата калия, а затем повязку из мази от ожогов.

4. При отравлении хлором, бромом, сероводородом, оксидом углерода(II) необходимо вынести пострадавшего на воздух, а затем обратиться к врачу.

5. При отравлении соединениями мышьяка, ртути и цианистыми солями необходимо немедленно обратиться к врачу.

## Методы разделения и очистки веществ.
## 1. Химическая посуда, лабораторное оборудование и химические реактивы.

### 1.1. Химическая посуда

#### *1.1.1. Стеклянная посуда общего назначения*

Основным требованием, предъявляемым к ***стеклянной посуде***, является ее химическая и термическая устойчивость. ***Химическая устойчивость*** – это свойство стекла противостоять разрушающему действию растворов щелочей, кислот и других веществ. ***Термическая устойчивость*** – способность посуды выдерживать резкие колебания температуры.

Лучшим стеклом для изготовления лабораторной посуды считается ***пирекс***. Этот тип стекла обладает термической и химической устойчивостью, имеет малый коэффициент термического расширения. В лабораторной практике наибольшее распространение получили следующие виды стеклянной посуды:

***Пробирки простые и калиброванные (с делениями, указывающими объем)*** используют для проведения опытов с небольшим количеством реактивов. Объем реактива в пробирке не должен превышать половины ее объема.

***Лабораторные стаканы*** выпускают различных размеров, с носиком и без носика, простые и калиброванные. Стаканы предназначены для выполнения самых разнообразных процедур.

***Колбы*** различного размера и формы (***круглые, конические, плоскодонные, круглодонные).*** Например, в лабораторной практике широко применяют конические плоскодонные колбы ***(колбы Эрленмейера)***. ***Колба Вюрца*** представляет собой круглодонную колбу с отводной трубкой под углом $60\text{-}80^0$. Ее используют для получения газов и для отгонки жидкостей при атмосферном давлении.

***Воронки химические*** служат для переливания жидкостей и фильтрования; ***капельные воронки*** используют для введения в реакционную среду жидких реактивов небольшими порциями. ***Воронки делительные*** применяют для разделения несмешивающихся жидкостей.

***Капельницы*** используют для введения реактивов малыми порциями, по каплям.

***Бюксы*** предназначены для взвешивания и хранения жидких и твердых веществ.

***Часовые стекла*** используют для проведения реакций в малых объемах (капельные реакции) и для взвешивания твердых веществ.

***Кристаллизаторы*** применяют для получения кристаллов веществ из насыщенных растворов или для охлаждения химических стаканов или колб с реагирующими веществами.

***Эксикаторы*** применяют для медленного высушивания и хранения веществ, легко поглощающих влагу из воздуха. Нижнюю часть эксикатора заполняют водопоглощающими веществами (прокаленный хлорид кальция, концентрированная серная кислота, оксид фосфора (V) и др.). Над поглотителем на фарфоровом вкладыше помещают бюксы или тигли с веществами, подлежащими осушке. Различают два основных типа эксикаторов: ***обычные эксикаторы*** и ***вакуум-эксикаторы***.

***Аппарат Киппа*** – прибор для периодического получения водорода, сероводорода, оксида углерода (IV) и других газов в лаборатории.

### *1.1.2. Фарфоровая посуда*

По сравнению со стеклянной обладает большей химической устойчивостью к кислотам и щелочам, большей термостойкостью. Фарфоровые изделия можно нагревать до температуры около 1200°С. Недостатком ее является непрозрачность и сравнительно большая масса. Фарфоровая посуда также разнообразна по форме и назначению.

***Стаканы*** бывают различной емкости, с ручкой и без ручки, с носиком и без носика.

***Фарфоровые кружки*** так же бывают различной емкости (обычно от 250 мл до 2-х литров.)

***Выпарительные чашки*** используют для выпаривания и нагревания жидкостей.

***Тигли*** – сосуды, применяемые для прокаливания различных твердых веществ (осадков, минералов и т.п.), а также для сплавления и сжигания. При прокаливании веществ на пламени газовой горелки тигли закрепляют в ***проволочных треугольниках с фарфоровыми трубками.***

***Фарфоровые ступки с пестиком*** применяют для измельчения твердых веществ. Перед работой ступка должна быть тщательно вымыта и высушена. Вещество насыпают в ступку в количестве не более 1/3 ее объема (иначе оно будет высыпаться из ступки при измельчении). При растворении твердого вещества в ступке (с одновременным растиранием) вначале насыпают твердое вещество, а затем к нему постепенно небольшими порциями при круговом движении пестика добавляют жидкость. Всю жидкость, которую берут для растворения, употреблять не следует: не менее 1/3 количества ее оставляют для того, чтобы по окончании растворения сполоснуть ступку и обмыть пестик, после чего этот раствор добавляют к ранее полученному раствору.

***Фарфоровые ложки-шпатели*** применяют для отбора веществ, для снятия осадков с фильтров и при многих других работах.

***Воронки Бюхнера и фарфоровые сетки*** применяют для фильтрования жидкостей при пониженном давлении (под вакуумом).

### *1.1.3. Мерная посуда*

Для измерения объемов жидкостей используют разнообразную мерную посуду: мерные колбы, мерные цилиндры, мензурки, пипетки и др.

***Мерные колбы*** служат для приготовления растворов точной концентрации и представляют собой круглые плоскодонные колбы с длинным и узким горлом, на котором нанесена тонкая черта. Эта отметка показывает границу, до которой следует наливать жидкость, чтобы ее объем соответствовал указанному на колбе значению. Цифры на колбе показывают объем жидкости (мл), на который она рассчитана. Мерные колбы обычно имеют притертые пробки. Применяют колбы на 50,100, 250, 500 и 1000 мл.

Мерные колбы меньшего объема, использующиеся для определения плотности жидкостей, называются ***пикнометрами.***

***Мерные цилиндры*** представляют собой стеклянные сосуды, которые для большей устойчивости имеют широкое основание (дно) или специальную подставку. Снаружи на стенках цилиндров нанесены деления, указывающие объем (в мл). Мерные цилиндры бывают различной емкости: от 5 мл до 2 л. Их назначение – измерять (с определенной погрешностью) различные объемы жидкости.

***Мензурки*** – это сосуды конической формы с делениями на стенке.

***Пипетки*** служат для отбора точно определенных относительно небольших объемов жидкостей. Они представляют собой стеклянные трубки небольшого диаметра с делениями. Некоторые пипетки имеют расширение посредине (***пипетки Мора***). Нижний конец пипетки слегка оттянут и имеет внутренний диаметр до 1 мм. На верхнем конце пипетки имеется метка, до которой набирают жидкость. Некоторые пипетки снабжены двумя метками. Обычно пипетки имеют емкость от 1 до 100 мл.

***Бюретки*** служат для отмеривания точных объемов жидкостей, преимущественно при химико-аналитических работах (титрование). Они могут иметь различную конструкцию и иметь разный объем.

### *1.1.4. Пластмассовая посуда*

В лабораторной практике используют посуду, изготовленную из полимерных материалов (полиэтилен, полипропилен, фторопласт и др.) При высокой химической устойчивости такая посуда обладает низкой термостойкостью, и поэтому ее обычно используют в работах, не тре-

бующих нагревания. Из полиэтилена изготовляют ***воронки*** для жидких и сыпучих веществ, ***промывалки, капельницы, флаконы и банки*** для транспортировки и хранения химических реактивов, ***пробирки для центрифугирования, пипет-дозаторы и наконечники к ним и др.***

### 1.2. Металлическое оборудование

В химических лабораториях широко применяют разнообразное металлическое оборудование, преимущественно стальное.

***Штативы*** с набором ***муфт, лапок и колец*** используют для закрепления на них во время работы различных приборов, стеклянной посуды (холодильников, колб, делительных воронок и пр.). Кольца, закрепленные на штативе, используют также при нагревании химической посуды на металлических ***асбестированных сетках*** газовыми горелками.

***Треноги*** применяют в качестве подставок для различных приборов, колб и пр. Они особенно удобны при нагревании крупных по размеру колб и громоздких приборов.

***Держатели для пробирок*** – приспособления, которые используются при непродолжительном нагревании пробирок.

***Пинцеты*** – приспособления для захватывания мелких предметов, а также веществ, которые нельзя брать руками, например, металлический натрий.

***Тигельные щипцы*** применяют для захватывания горячих тиглей при извлечении их из муфельной печи, снятия раскаленных тиглей с фарфоровых треугольников и при всех работах, когда приходится иметь дело с раскаленными предметами.

***Зажимы*** – приспособления, используемые для зажимания резиновых трубок. Обычно применяют пружинные зажимы (***зажимы Мора)*** и винтовые (***зажимы Гофмана).*** Последние позволяют легко регулировать скорость вытекания жидкости или интенсивность прохождения газов.

### 1.3. Лабораторные нагревательные приборы

В лаборатории применяют различные нагревательные приборы: газовые горелки, электрические плитки, бани, сушильные шкафы, муфельные печи и т. п.

***Газовые горелки.*** Наиболее часто применяют газовые горелки ***Бунзена*** и ***Теклю***. В газовых горелках предусмотрено регулирование поступления воздуха с помощью вращения диска (***горелка Теклю***) или поворотом хомутика (***горелка Бунзена***). Горелка Теклю с регулировочным диском – более совершенный прибор, так как в ней можно точнее регулировать не только доступ воздуха, но и приток газа (с помощью винта). Зажигать газовую горелку нужно только через 1-2 с после пуска газа и при небольшом доступе воздуха. Затем следует отрегулировать доступ воздуха так, чтобы пламя стало несветящимся.

**ВНИМАНИЕ!** ***Необходимо помнить, что природный газ ядовит и образует с воздухом взрывоопасные смеси. Поэтому нельзя допускать утечки газа!***

***Бани***. Для продолжительного нагревания в пределах температуры 100-300°С применяют бани: водяную, песчаную и др. Они представляют собой, как правило, металлические чаши, заполненные водой (водяная баня) или сухим, чистым песком, прокаленным для удаления из него органических примесей (песчаная баня). Нагревание бань проводят пламенем газовой горелки. Используются также водяные и песчаные бани с электрообогревом.

***Электрические плитки***. В тех случаях, когда требуется нагревание, а пользоваться горелками нельзя (например, при перегонке воспламеняющихся легколетучих жидкостей), применяют электрические плитки.

Для нагревания круглодонной стеклянной посуды применяют ***колбонагреватели.***

***Печи***. Для получения температуры 600-1400°С применяются электрические ***муфельные печи***. С помощью особого регулировочного устройства печь может нагреваться до определенной, заранее заданной температуры.

***Сушильные шкафы*** имеют электрический обогрев и терморегулятор, позволяющий поддерживать постоянную температуру. Для наблюдения за температурой шкаф снабжен термометром. Высушиваемое вещество помещается в сушильный шкаф, отрегулированный на требуемую температуру, и выдерживается в нем при заданной температуре определенное время. В работах количественного характера сушку проводят несколько раз до достижения высушиваемым веществом постоянной массы.

### 1.4. Правила работы с химическими реактивами

1. При работе с химическими реактивами следует оберегать их от загрязнения. Не следует сливать излишки растворов и ссыпать твердые вещества обратно в емкости, из которых они взяты. После употребления реактива склянку нужно тотчас закрыть пробкой и поставить на место. Важно не путать пробки разных склянок.
2. На всех склянках с реактивами всегда должны быть этикетки с названием вещества или химической формулой.
3. Брать реактивы следует в возможно малых количествах.
4. Твердые вещества следует брать при помощи стеклянных, фарфоровых, пластмассовых шпателей, лопаточек, а жидкие – с помощью пипеток.
5. При отборе жидкого реактива склянку следует брать этикеткой в ладонь и последнюю каплю реактива удалять о край сосуда, в который жидкий реактив наливают.

## 2. Чистые вещества и смеси. Методы разделения и очистки веществ

***Чистое вещество*** содержит частицы только одного вида. Примерами могут служить серебро (содержит только атомы серебра), серная кислота и оксид углерода (IV) (содержат только молекулы соответствующих веществ). Все чистые вещества имеют постоянные физические свойства, например, температуру плавления ($\mathbf{T_{пл}}$) и температуру кипения ($\mathbf{T_{кип}}$).

Вещество не является чистым, если содержит какое-либо количество одного или нескольких других веществ – ***примесей***. Загрязнения понижают температуру замерзания и повышают температуру кипения чистой жидкости. Например, если в воду добавить соль, температура замерзания раствора понизится.

***Смеси*** состоят из двух или более веществ. Почва, морская вода, воздух – все это примеры различных смесей. Многие смеси могут быть разделены на составные части – ***компоненты*** – на основании различия их физических свойств.

Традиционными методами, которые используются в лабораторной практике с целью разделения смесей на отдельные компоненты, являются:

- ***фильтрование,***
- ***отстаивание с последующей декантацией,***
- ***разделение с помощью делительной воронки,***
- ***центрифугирование,***
- ***выпаривание,***
- ***кристаллизация,***
- ***перегонка (в том числе фракционная перегонка),***
- ***хроматография,***
- ***возгонка и другие.***

***Фильтрование.*** Для отделения жидкостей от взвешенных в ней мелких твердых частиц применяют фильтрование, т.е. процеживание жидкости через мелкопористые материалы – ***фильтры***, которые пропускают жидкость и задерживают на своей поверхности твердые частицы.

Жидкость, прошедшая через фильтр и освобожденная от находившихся в ней твердых примесей, называется ***фильтратом.*** Фильтрующими материалами могут быть бумага, вата, стекловата, ткань и др.

Для фильтрования горячих растворов (например, с целью перекристаллизации солей) применяют специальную ***воронку для горячего фильтрования*** с электрическим или водяным обогревом.

Часто применяют ***фильтрование под вакуумом***. Фильтрование под вакуумом используют для ускорения фильтрования и более полного освобождения осадка от раствора. Для этой цели собирают прибор для фильтрования под вакуумом. Он состоит из ***колбы Бунзена, фарфоровой воронки Бюхнера, предохранительной склянки и вакуум-насоса*** (обычно водоструйного).

В случае фильтрования суспензии малорастворимой соли кристаллы последней могут быть промыты дистиллированной водой на воронке Бюхнера для удаления с их поверхности исходного раствора. Для этой цели используют ***промывалку.***

***Декантация.*** Жидкости могут быть отделены от нерастворимых твердых частиц декантацией. Этот метод можно применять, если твердое вещество имеет большую плотность, чем жидкость. Например, если речной песок добавить в стакан с водой, то при отстаивании он осядет на дно стакана, потому что плотность песка больше, чем воды. Тогда вода может быть отделена от песка просто сливанием. Такой метод отстаивания и последующего сливания фильтрата и называется декантацией.

***Центрифугирование.*** Для ускорения процесса отделения очень мелких частиц, образующих в жидкости устойчивые суспензии или эмульсии, используют метод центрифугирования. Этим методом можно разделить смеси жидких и твердых веществ, различающихся по плотности. Разделение проводится в ***ручных или электрических центрифугах***.

***Разделение двух несмешивающихся жидкостей,*** имеющих различную плотность и не образующих устойчивых эмульсий, можно осуществить с помощью делительной воронки. Так можно разделить, например, смесь бензола и воды. Слой бензола (плотность $\rho = 0{,}879$ г/см$^3$) располагается над слоем воды, которая имеет большую плотность ($\rho = 1{,}0$ г/см$^3$). Открыв кран делительной воронки, можно аккуратно слить нижний слой и отделить одну жидкость от другой.

***Выпаривание*** – этот метод предусматривает удаление растворителя, например, воды из раствора в процессе нагревания его в выпарительной фарфоровой чашке. При этом выпариваемая жидкость удаляется, а растворенное вещество остается в выпарительной чашке.

***Кристаллизация*** – это процесс выделения кристаллов твердого вещества при охлаждении раствора, например, после его упаривания. Следует иметь в виду, что при медленном охлаждении раствора образуются крупные кристаллы. При быстром охлаждении (например, при охлаждении проточной водой) образуются мелкие кристаллы.

***Перегонка*** – метод очистки вещества основанный на испарении жидкости при нагревании с последующей конденсацией образовавшихся паров. Очистка воды от растворенных в ней солей (или других веществ, например, красящих) перегонкой называется ***дистилляцией***, а сама очищенная вода – дистиллированной.

***Фракционная перегонка*** *(рис.46)* применяется для разделения смесей жидкостей с различными температурами кипения. Жидкость с меньшей температурой кипения закипает быстрее и раньше проходит через ***фракционную колонку*** (или ***дефлегматор***). Когда эта жидкость достигает верха фракционной колонки, то попадает в ***холодильник***, охлаждается водой и через ***алонж*** собирается в ***приемник*** (колбу или пробирку). Фракционной перегонкой можно разделить, например, смесь этанола и воды. Температура кипения этанола 78°С, а воды 100°С. Этанол испаряется легче и первым попадает через холодильник в приемник.

***Хроматогра́фия***. Метод разделения и анализа смесей веществ, основанный на распределении веществ между двумя фазами – неподвижной (сорбент) и подвижной (газовая или жидкая фаза, элюент), вследствие различной адсорбционной способности компонентов смеси.

***Возгонка*** – метод применяемый для очистки веществ, способных при нагревании переходить из твердого состояния в газообразное, минуя жидкое состояние. Далее пары очищаемого вещества конденсируются, а примеси, не способные возгоняться, отделяются.

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

**Таблица 1 – Давление насыщенного водяного пара при различных температурах (давление в миллиметрах ртутного столба, температура в °С)**

| **Температура** | **11** | **12** | **13** | **14** | **15** | **16** | **17** | **18** | **19** | **20** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $P_{H2O}$ | 9,84 | 10,52 | 11,22 | 11,98 | 12,78 | 13,62 | 14,53 | 15,46 | 16,46 | 17,53 |
| Температура | **0** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** |
| **20** | 17,53 | 18,65 | 19,82 | 21,05 | 22,37 | 23,75 | 25,21 | 26,74 | 28,32 | 30,03 |
| **30** | 31,82 | 33,70 | 35,69 | 37,71 | 39,15 | 42,20 | 44,60 | 47,04 | 49,70 | 52,45 |

**Таблица 2 – Термодинамические константы некоторых веществ**

| Вещество | $\Delta H^{o}_{298}$ кДж/моль | $\Delta S^{o}_{298}$ Дж/моль*К | $\Delta G^{o}_{298}$ кДж/моль | Вещество | $\Delta H^{o}_{298}$ кДж/моль | $\Delta S^{o}_{298}$ Дж/моль*К | $\Delta G^{o}_{298}$ кДж/моль |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $Al_2O_3$(к) | -1676,0 | 50,9 | -1582,0 | $Fe_3O_4$(к) | -1117,1 | 146,2 | -1014,2 |
| C(графит) | 0 | 5,7 | 0 | $H_2$(г) | 0 | 130,5 | 0 |
| $CCl_4$(ж) | -135,4 | 214,4 | -64,6 | HBr(г) | -36,3 | 198,6 | -53,3 |
| $CH_4$(г) | -79,4 | 182,6 | -50,8 | HCN(г) | 135,0 | 113,1 | 125,5 |
| $C_2H_2$(г) | 226,8 | 200,8 | 209,2 | HCl(г) | -92,3 | 186,8 | -92,5 |
| $C_2H_4$(г) | 52,3 | 219,4 | 68,1 | HF(г) | -270,7 | 178,7 | -272,8 |
| $C_2H_6$(г) | -89,7 | 229,5 | -32,9 | HI(г) | 26,2 | 206,5 | 1,8 |
| $C_6H_6$(г) | 82,9 | 269,2 | 129,7 | $HN_3$(ж) | 294,0 | 328,0 | 238,8 |
| $C_2H_5OH$(ж) | -227,6 | 160,7 | -174,8 | $H_2O$(г) | -241,8 | 188,7 | -228,6 |
| $C_6H_{12}O_6$(глюкоза) | -1273,0 | - | -919,5 | $H_2O$(ж) | -285,8 | 70,1 | -237,3 |
| CO(г) | -110,5 | 197,5 | -137,1 | $H_2S$(г) | -21,0 | 205,7 | -33,8 |
| $CO_2$(г) | -393,5 | 213,7 | -394,4 | KCl(к) | -435,9 | 82,6 | -408,0 |
| $CaCO_3$(к) | -1207,0 | 88,7 | -1127,7 | $KClO_3$(к) | -391,2 | 143,0 | -289,9 |
| $CaF_2$(к) | -1214,6 | 68,9 | -1161,9 | $MgCl_2$(к) | -641,1 | 89,9 | -591,6 |
| $Ca_3N_2$(к) | -431,8 | 105 | -368,5 | $Mg_3N_2$(к) | -461,1 | 87,9 | -400,9 |
| CaO(к) | - 635,5 | 39,7 | -604,2 | MgO(к) | -601,8 | 26,9 | -596,6 |

Продолжение таблицы 2

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $Ca(OH)_2$(к) | -986,6 | 76,1 | -896,8 | $N_2$(г) | 0 | 191,5 | 0 |
| $Cl_2$(г) | 0 | 222,9 | 0 | $NH_3$(г) | -46,2 | 192,6 | -16,7 |
| $Cl_2O$(г) | 76,6 | 226,2 | 94,2 | $NH_4NO_2$(к) | -256,0 | - | - |
| $ClO_2$(г) | 105,0 | 257,0 | 122,3 | $NH_4NO_3$(к) | -365,4 | 151 | -183,8 |
| $Cl_2O_7$(ж) | 251,0 | - | - | $N_2O$(г) | 82 | 219,9 | 101,4 |
| $Cr_2O_3$(к) | -1440,6 | 81,2 | -1050,0 | NO(г) | 90,3 | 210,6 | 86,8 |
| CuO(к) | -162,0 | 42,6 | -129,9 | $N_2O_3$(г) | 83,3 | 307,0 | 140,5 |
| FeO(к) | -264,8 | 60,8 | -244,3 | $NO_2$(г) | 33,5 | 240,2 | 51,5 |
| $Fe_2O_3$(к) | -822,6 | 87,4 | -740,3 | $N_2O_4$(г) | 9,6 | 303,0 | 98,4 |

**Таблица 3 – Растворимости неорганических веществ в воде при комнатной температуре**

| **Ионы** | **$Br^-$** | **$CH_3COO^-$** | **$CN^-$** | **$CO_3^{2-}$** | **$Cl^-$** | **$F^-$** | **$I^-$** | **$NO_3^-$** | **$OH^-$** | **$PO_4^{3-}$** | **$S^{2-}$** | **$SO_4^{2-}$** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **$Ag^+$** | н | м | н | н | н | р | н | р | – | н | н | м |
| **$Al^{3+}$** | р | + | ? | – | р | м | р | р | н | н | + | р |
| **$Ba^{2+}$** | р | р | р | н | р | м | р | р | р | н | р | н |
| **$Be^{2+}$** | р | + | ? | + | р | р | р | р | н | н | + | р |
| **$Ca^{2+}$** | р | р | р | н | р | н | р | р | м | н | м | м |
| **$Cd^{2+}$** | р | р | м | + | р | р | р | р | н | н | н | р |
| **$Co^{2+}$** | р | р | н | + | р | р | р | р | н | н | н | р |
| **$Cr^{3+}$** | р | + | н | – | р | м | н | р | н | н | + | р |
| **$Cs^+$** | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р |
| **$Cu^{2+}$** | р | р | н | + | р | р | – | р | н | н | н | р |
| **$Fe^{2+}$** | р | р | н | + | р | м | р | р | н | н | н | р |
| **$Fe^{3+}$** | р | – | – | – | р | н | – | р | н | н | – | р |
| **$Hg^{2+}$** | м | р | р | – | р | + | н | + | – | н | н | + |
| **$Hg_2^{2+}$** | н | м | – | н | н | м | н | + | – | н | – | н |
| **$K^+$** | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р |
| **$Li^+$** | р | р | р | р | р | н | р | р | р | м | р | р |
| **$Mg^{2+}$** | р | р | р | м | р | н | р | р | н | н | н | р |

Продолжение таблицы 3

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **$Mn^{2+}$** | р | р | н | + | р | р | р | р | н | н | н | р |
| **$NH_4^+$** | р | р | р | р | р | р | р | р | р | – | + | р |
| **$Na^+$** | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р |
| **$Ni^{2+}$** | р | р | н | + | р | р | р | р | н | н | н | р |
| **$Pb^{2+}$** | м | р | н | + | м | м | м | р | н | н | н | н |
| **$Rb^+$** | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р |
| **$Sn^{2+}$** | + | + | – | – | + | р | м | + | н | н | н | р |
| **$Sr^{2+}$** | р | р | р | н | р | н | р | р | м | н | р | н |
| **$Tl^+$** | м | р | р | р | м | р | н | р | р | м | н | м |
| **$Zn^{2+}$** | р | р | н | + | р | м | р | р | н | н | н | р |

**Обозначения**: р – хорошо растворимый, м – малорастворимый, н – практически нерастворимый, «+» – полностью реагирует с водой или не осаждается из водного раствора, – не существует, «?» – данные о растворимости отсутствуют.

**Таблица 4 – Ряд стандартных, электродных потенциалов металлов**

| **Li** | **Cs** | **K** | **Ba** | **Ca** | **Na** | **Mg** | **Al** | **Zn** | **Fe** | **Co** | **Ni** | **Sn** | **Pb** | **$H_2$** | **Cu** | **Ag** | **Hg** | **Pt** | **Au** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| -3,04 | -3.01 | -2,92 | -2,90 | -2,87 | -2,71 | -2,36 | -1,66 | -0,76 | -0,44 | -0,28 | -0,25 | -0,14 | -0,13 | 0 | +0,34 | +0,80 | +0,85 | +1,28 | +1,5 |
| $Li^+$ | $Cs^+$ | $K^+$ | $Ba^{2+}$ | $Ca^{2+}$ | $Na^+$ | $Mg^{2+}$ | $Al^{3+}$ | $Zn^{2+}$ | $Fe^{2+}$ | $Co^{2+}$ | $Ni^{2+}$ | $Sn^{2+}$ | $Pb^{2+}$ | $2H^+$ | $Cu^{2+}$ | $Ag^+$ | $Hg^{2+}$ | $Pt^{2+}$ | $Au^{3+}$ |
| Восстановительная активность металлов (свойство отдавать электроны) уменьшается, а окислительная способность их катионов (свойство присоединять электроны) увеличивается в указанном ряду слева направо. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

**Таблица 5 – Соотношения между различными способами выражения состава бинарного раствора**

(ρ – плотность раствора данного состава, г/л)

| | **ω** | ***C*** | $C_{экв}$ | $C_m$ | $C_{масс}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| **ω** | – | $C=\frac{\omega\rho}{M}$ | $C_{экв}=\frac{\omega\rho z_{экв}}{M}$ | $C_m=\frac{1000\omega}{M(1-\omega)}$ | $C_{масс}=\omega\rho$ |
| ***C*** | $\omega=\frac{CM}{\rho}$ | – | $C_{экв}=Cz_{экв}$ | $C_m=\frac{1000C}{\rho-CM}$ | $C_{масс}=CM$ |
| $C_{экв}$ | $\omega=\frac{C_{экв}M}{\rho z_{экв}}$ | $C=\frac{C_{экв}}{z_{экв}}$ | – | $C_m=\frac{1000C_{экв}}{z_{экв}\rho-C_{экв}M}$ | $C_{масс}=C_{экв}\frac{M}{z_{экв}}$ |
| $C_m$ | $\omega=\frac{C_mM}{C_mM+1000}$ | $C=\frac{C_m\rho}{C_mM+1000}$ | $C_{экв}=\frac{C_m\rho z_{экв}}{C_mM+1000}$ | – | $C_{масс}=\frac{C_mM\rho}{C_mM+1000}$ |
| $C_{масс}$ | $\omega=\frac{C_{масс}}{\rho}$ | $C=\frac{C_{масс}}{M}$ | $C_{экв}=\frac{z_{экв}C_{масс}}{M}$ | $C_m=\frac{1000C_{масс}}{M(\rho-C_{масс})}$ | – |

**Таблица 6 – Стандартные потенциалы окислительно-восстановительных пар (*E*°; водный раствор, 25 °С)**

| **Оф/Вф** | ***E*°, среда** | **Оф/Вф** | ***E*°, среда** | **Оф/Вф** | ***E*°, среда** | **Оф/Вф** | ***E*°, среда** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $Ag^+$ / Ag | +0,80 к | $Cu^{2+}$, $Br^-$ / CuBr | +0,66 к | $IO_3^-$ / $I^-$ | +0,25 щ | $O_2$ / $H_2O_2$ | +0,69 к |
| $[Ag(CN)_2]^-$ / Ag, $CN^-$ | −0,43 щ | $Cu^{2+}$, $CN^-$ / $[Cu(CN)_2]^-$ | +1,11 щ | $IO_3^-$ / $I_2$ | +1,19 к | $O_2$ / $H_2O_2$ | −0,13 щ |
| $Al^{3+}$/ Al | −1,70 к | $Cu^{2+}$, $Cl^-$ / CuCl | +0,55 к | $IO_3^-$ / $I_2$ | +0,20 щ | $Pb^{2+}$ / Pb | −0,13 к |
| $Al(OH)_3$ / Al | −1,49 н (pH = 6) | $Cu^{2+}$, $Cl^-$ / $[CuCl_2]^-$ | +0,49 к | $Mg^{2+}$/ Mg | −2,37 к | $PbO_2$ / $Pb^{2+}$ | +1,46 к |
| $[Al(OH)_4]^-$ / Al | −2,34 щ | $Cu^{2+}$, $I^-$ / CuI | +0,86 к | $Mg(OH)_2$ / Mg | −2,69 щ | $PbO_2$ / $[Pb(OH)_3]^-$ | +0,19 щ |
| $At_2$ / $At^-$ | +0,20 к, щ | $Cu^{2+}$, $I^-$ / $[CuI_2]^-$ | +0,69 к | MnO(OH)/$Mn(OH)_2$ | +0,17 щ | $(Pb_2^{II}Pb^{IV})O_4$ / $Pb^{2+}$ | +2,16 к |
| $Au^{3+}$ / Au | +1,50 к | $[Cu(NH_3)_2]^+$ / Cu, $NH_3$ | −0,12 щ | $MnO_2$ / $Mn^{2+}$ | +1,24 к | S / $H_2S$ | +0,14 к |
| $[Au(CN)_2]^-$ / Au, $CN^-$ | −0,76 щ | $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$ / Cu, $NH_3$ | −0,07 щ | $MnO_4^-$ / $MnO_2$ | +0,62 н (pH = 8) | S / $S^{2-}$ | −0,44 щ |
| $Be^{2+}$ / Be | −1,85 к | $Cu_2O$ / Cu | +0,47 к | $MnO_4^-$ / $MnO_2$ | +1,73 н (pH = 6) | $SO_2$ / S | +0,45 к |
| $[Be(OH)_4]^{2-}$ / Be | −2,52 щ | $Cu_2O$ / Cu | −0,37 щ | $MnO_4^-$ / $MnO_4^{2-}$ | +0,56 щ | $SO_2$ / $SO_3S^{2-}$ | +0,39 к |
| $Bi^{3+}$ / Bi | +0,32 к | $Fe^{2+}$ / Fe | −0,44 к | $MnO_4^-$ / $Mn^{2+}$ | +1,53 к | $SO_3^{2-}$ / S | −0,66 щ |

Продолжение таблицы 3

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $Bi(OH)_3$ / Bi | −0,38 щ | $Fe^{3+}$ / $Fe^{2+}$ | +0,77 к | $N_2$ / $NH_4^+$ | +0,27 к | $SO_3^{2-}$ / S | +0,58 к |
| $Br_2$ / $Br^-$ | +1,09 к, щ | FeO(OH) / $Fe(OH)_2$ | −0,67 щ | $N_2$ / $N_2H_5^+$ | −0,23 к | $SO_3^{2-}$ / $SO_3S^{2-}$ | −0,59 щ |
| $BrO^-$ / $Br_2$ | +0,43 щ | $F_2$ / $F^-$ | +2,87 щ | $N_2$ / $NH_3 \cdot H_2O$ | −0,74 щ | $SO_4^{2-}$ / $H_2S$ | +0,31 к |
| $BrO_3^-$/ $Br_2$ | +1,51 к | $F_2$ / HF | +3,09 к | $N_2$ / $N_2H_4 \cdot H_2O$ | −1,12 щ | $SO_4^{2-}$ / S | +0,35 к |
| $BrO_3^-$ / $Br_2$ | +0,52 щ | $H^+$ / $H_2$ | ± 0,00 к | $N_2$ / $NH_3OH^+$ | −1,87 к | $SO_4^{2-}$ / S | −0,75 щ |
| $CH_3CHO$/ $C_2H_5OH$ | +0,19 к | $H^+$ / $H_2$ | −0,42 н (pH = 7) | $N_2$ / $NH_2OH \cdot H_2O$ | −3,04 щ | $SO_4^{2-}$ / $S^{2-}$ | +0,15 к |
| $CO_2$ / $H_2C_2O_4$ | −0,47 к | $H_2O$ / $H_2$ | −0,83 щ | $NO_2^-$ / NO | +1,20 к | $SO_4^{2-}$ / $S^{2-}$ | −0,67 щ |
| $Ca^{2+}$/ Ca | −2,86 к | $H_2$, $Ca^{2+}$ / $CaH_2$ | −2,16 к | $NO_2^-$ / NO | −0,45 щ | $SO_4^{2-}$ / $SO_2$ | +0,16 к |
| $Cd^{2+}$/ Cd | −0,40 к | HBrO / $Br_2$ | +1,57 к | $NO_2^-$ / $N_2O$ | +0,16 щ | $SO_4^{2-}$ / $SO_2$ | −1,50 щ |
| $Cl_2$ / $Cl^-$ | +1,40 к, щ | HClO / $Cl_2$ | +1,63 к | $NO_3^-$ / $HNO_2$ | +0,93 к | $SO_4^{2-}$ / $SO_3^{2-}$ | −0,93 щ |
| $ClO^-$ / $Cl_2$ | +0,48 щ | $HO_2^-$ / $OH^-$ | +0,88 щ | $NO_3^-$ / $NO_2^-$ | +0,01 щ | $SO_4^{2-}$ / $SO_3^{2-}$ | −0,10 к |
| $ClO^-$ / $Cl_2$ | +2,14 к | $H_2O_2$ / $H_2O$ | +1,76 к | $NO_3^-$ / $NH_3 \cdot H_2O$ | −0,12 щ | $SO_4^{2-}$ / $SO_3S^{2-}$ | +0,28 к |
| $ClO_3^-$ / $ClO^-$ | +0,48 щ | $H_2O_2$ / $OH^-$ | +0,94 щ | $NO_3^-$ / $NH_4^+$ | +0,88 к | $SO_4^{2-}$, $Cu^{2+}$ / CuS | +0,42 к |
| $ClO_3^-$ / $Cl_2$ | +0,48 щ | $H_3PO_4$ / $H(PH_2O_2)$ | −0,39 к | $NO_3^-$ / NO | +0,96 к | $SO_4^{2-}$, $Fe^{3+}$ / FeS | +0,33 к |
| $ClO_3^-$ / $Cl_2$ | +1,47 к | $H_3PO_4$ / $H_2(PHO_3)$ | −0,28 к | $NO_3^-$ / $NO_2$ | +0,77 к | $S_4O_6^{2-}$ / $SO_3S^{2-}$ | +0,02 н |
| $ClO_4^-$ / $ClO_3^-$ | +1,19 к | $H_3PO_4$ / P | −0,38 к | $Na^+$/ Na | −2,71 к, щ | $S_2O_6(O_2)^{2-}$ / $SO_4^{2-}$ | +1,96 к |
| $Co^{3+}$ / $Co^{2+}$ | +1,38 к | $HSO_3^-$ / S | +0,48 к | $Na_2O_2$ / $H_2O$, $Na^+$ | +2,86 к | $SO_3S^{2-}$ / S | +0,51 к |
| CoO(OH) / $Co(OH)_2$ | +0,19 щ | $Hg^{2+}$/ Hg | +0,85 к | $Na_2O_2$ / $OH^-$ , $Na^+$ | +1,20 щ | $Sn^{2+}$/ Sn | −0,14 к |
| $Cr^{3+}$ / $Cr^{2+}$ | −0,41 к | $HgCl_2$ / $Hg_2Cl_2$, $Cl^-$ | +0,66 к | $NaBiO_3$ /$Bi(OH)_3$, $Na^+$ | +0,37 щ | $[SnCl_3]^-$ / Sn, $Cl^-$ | −0,20 к |
| $Cr(OH)_3$ / $Cr(OH)_2$ | −1,18 щ | $Hg_2Cl_2$ / Hg, $Cl^-$ | +0,27 к | $NaBiO_3$ / $Bi^{3+}$, $Na^+$ | +1,81 к | $[SnCl_6]^{2-}$ / $[SnCl_3]^-$ | +0,14 к |
| $CrO_4^{2-}$ / $[Cr(OH)_6]^{3-}$ | −0,17 щ | $[HgI_4]^{2-}$/Hg, $I^-$ | −0,04 к | $Ni^{2+}$ / Ni | −0,23 к | $SnO_2$/ Sn | −0,12 к |
| $Cr_2O_7^{2-}$ / $Cr^{3+}$ | +1,33 к | $[I(I)_2]^-$ / $I^-$ | +0,54 к, щ | NiO(OH) / $Ni^{2+}$ | +2,25 к | $[Sn(OH)_3]^-$ / Sn | −0,90 щ |
| $Cu^{2+}$/ Cu | +0,34 к | $I_2$ / $I^-$ | +0,54 к, щ | NiO(OH) / $Ni(OH)_2$ | +0,78 щ | $[Sn(OH)_6]^{2-}$ / $[Sn(OH)_3]^-$ | −0,96щ |
| $Cu^{2+}$ / $Cu_2O$ | +0,21 к | $IO_3^-$ / $I^-$ | +1,08 к | $O_2$ / $HO_2^-$ | −0,08 щ | $Tl^{3+}$ / $Tl^+$ | +1,28 к |

**Обозначения**: "к" − кислотная среда; "н" − нейтральная среда; "щ" − щелочная среда; "**Оф**" − окисленная форма; "**Вф**" − восстановленная форма

## ЛИСТ ОТВЕТОВ НА ВОПРОСЫ ИТОГОВОГО ЗАНЯТИЯ 1

## ЛИСТ ОТВЕТОВ НА ВОПРОСЫ ИТОГОВОГО ЗАНЯТИЯ 2

## ЛИСТ ОТВЕТОВ НА ВОПРОСЫ ИТОГОВОГО ЗАНЯТИЯ 3

## ЛИСТ ОТВЕТОВ НА ВОПРОСЫ ИТОГОВОГО ЗАНЯТИЯ 4

# ЛИТЕРАТУРА


**Основная литература**

1. Коровин, Н.В. Общая химия: учеб. для технических направ. и спец. вузов / Н.В. Коровин. – М.: Высшая школа, 1998. – 558 с.
2. Лучинский, Г.П. Общая химия: учеб. для инженерно-технических (нехим.) спец. вузов / Г.П. Лучинский. – М.: Высш. шк., 1985. – 416 с.
3. Фролов, В.В. Химия: учеб. пособие для вузов / В.В. Фролов. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Высшая школа, 1979. – 559 с.

**Дополнительная литература**

4. Бесчастнов, А.Г. Общая химия: учеб. пособие для студ. инженерно-технических (нехим.) спец. вузов / А.Г. Бесчастнов. – Минск: Выш. шк., 1977. – 464 с.
5. Глинка, Н.Л. Задачи и упражнения по общей химии: учеб. пособие для вузов / Н.Л. Глинка; под ред. В.А. Рабиновича и Х.М. Рубиной. – 22-е изд., стереотип. – Л.: Химия, 1981. – 280 с.
6. Свиридов, В.В. Задачи, вопросы и упражнения по общей и неорганической химии: учеб. пособие / В.В. Свиридов, Г.А. Попкович, Г.И. Васильева. – 3-е изд., перераб. и доп. – Минск: Университетское, 1991. – 350 с.
7. Василевская, Е.И. Методы решения задач по общей химии: учеб. пособ. / Е.И. Василевская, Т.В. Свиридова. – Мн.: Высш. шк., 2007. – 128 с.
8. Стромберг, А.Г. Физическая химия: учеб. для хим. спец. вузов / А.Г. Стромберг, Д.Л. Семченко. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1999. – 527 с.
9. Сидоров, В.И. Химия в строительстве: учебник для вузов / В.И. Сидоров, Э.П. Агасян, Т.П. Никифорова и др. – под ред. В.И. Сидорова. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2010. – 344 с.
10. Агасян, Э.П. Помощник в освоении курса «Химия в строительстве» / Э.П. Агасян, А.А. Корытин, И.В. Котенева, Е.М. Мясоедов. – под ред. В.И. Сидорова. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2008. – 136 с.
11. Корытин, А.А. Помощник в освоении курса "Химия в строительстве": (решение примеров и практических задач): [учебное пособие по направлению "Строительство"] / А.А. Корытин, Е.М. Мясоедов, И.В. Котенева, Э.П. Агасян, В.И. Сидоров. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2013. – 160 с.

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

***Составители:***
ГОЛУБ Наталья Михайловна
ТУР Элина Аркадьевна
БАСОВ Сергей Владимирович

# ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ «ОБЩАЯ ХИМИЯ»

Ответственный за выпуск: Тур Э.А.
Редактор: Боровикова Е.А.
Корректор: Никитчик Е.В.
Компьютерная вёрстка: Кармаш Е.Л.

---

Подписано к печати 02.09.2014 г. Формат 60x84 $^{1}/_{8}$. Гарнитура Times New Roman. Бумага «Снегурочка». Усл.п.л. 12,79. Уч.изд.л. 13,75. Тираж 150 экз. Заказ № 698. Отпечатано на ризографе Учреждения образования «Брестский государственный технический университет». 224017, Брест, ул. Московская, 267.