

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ВЛАДИВОСТОКСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ЭКОНОМИКИ И СЕРВИСА

*Международный институт окружающей среды и туризма  
Кафедра туризма и экологии*

Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине

## **ХИМИЯ**

Направление и направленность (профиль)

*05.03.06. Экология и природопользование. Экологическая безопасность*

Форма обучения

очная

Составитель(и)

Иваненко Н.В., кандидат биологических наук, доцент, кафедра туризма и экологии,  
[Natalya.Ivanenko@vvsu.ru](mailto:Natalya.Ivanenko@vvsu.ru)

Утверждены на заседании кафедры туризма и экологии

от 15.04.2022, протокол № 8

Владивосток 2022

Федеральное агентство по образованию  
Владивостокский государственный университет  
экономики и сервиса

---

**Л.В. БЕЛОУС**

# **АТОМНО-МОЛЕКУЛЯРНОЕ УЧЕНИЕ**

Лабораторный практикум

Владивосток  
Издательство ВГУЭС  
2020

Лабораторный практикум по курсу общей химии состоит из двух частей: теоретической и экспериментальной. Изучение теоретической части позволит студенту освоить данную тему и химически грамотно выполнить эксперимент. В экспериментальной части приводится подробная методика выполнения опытов. Список рекомендуемой литературы и контрольные вопросы помогут студенту усвоить данный теоретический материал.

Предназначен студентам нехимических специальностей высших учебных заведений.

Составитель: Л.В. Белоус, канд. хим. наук, доцент кафедры ЭПП.

Утверждена на заседании кафедры ЭПП.

Рекомендуется к изданию учебно-методической комиссией Института информатики, инноваций и бизнес-систем ВГУЭС.

© Издательство Владивостокский государственный университет экономики и сервиса, 2020  
(1-е изд. 2003)

## КЛАССЫ НЕОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

**Цель работы:** Ознакомиться с некоторыми методами получения и свойствами основных классов неорганических соединений: кислот, оснований, солей, оксидов.

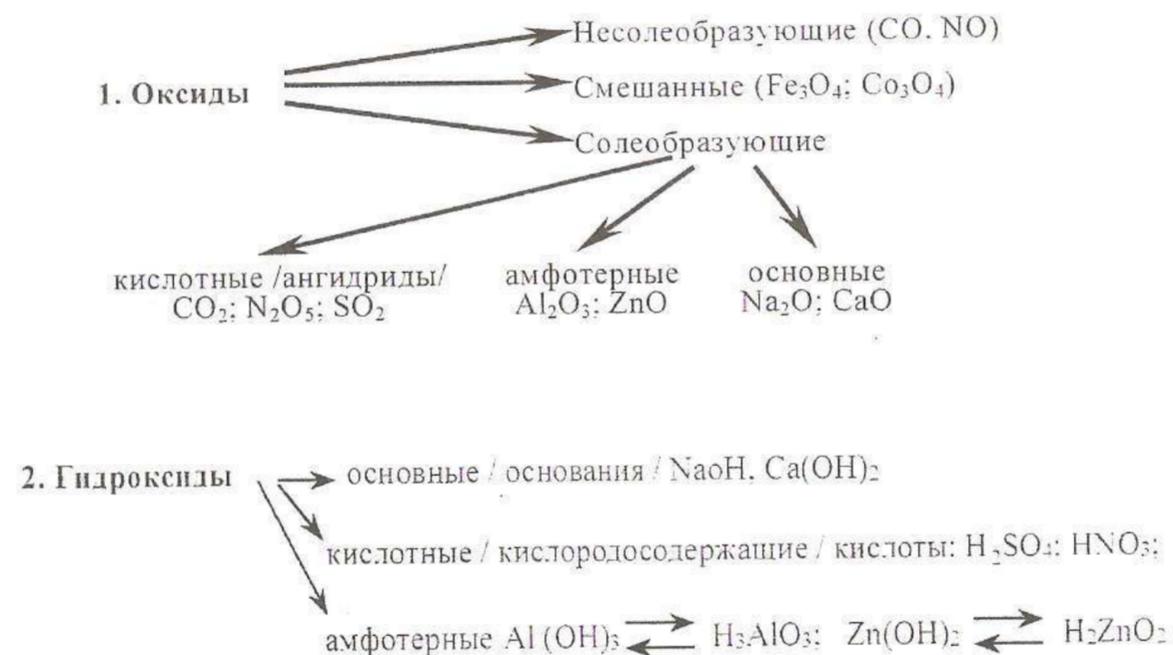
### 1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

#### 1.1. Классификация неорганических соединений

Все существующие соединения можно разделить на простые и сложные. Простые вещества – это такие вещества, которые образованы одним и тем же элементом. Например: кислород, озон, алмаз, сера и др. Простые вещества, в свою очередь, классифицируются на металлические и неметаллические. В настоящее время известно свыше 400 разновидностей простых веществ.

К сложным соединениям относятся вещества, образованные разными элементами, соединенными между собой химической связью. Число известных сложных соединений близко к миллиону, и ежегодно в химических журналах описывается около двадцати тысяч соединений.

Общепринято классифицировать сложные неорганические соединения по следующей схеме:

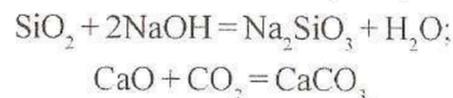




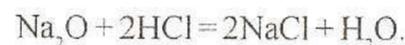
Важнейшими классами неорганических соединений являются оксиды, гидроксиды (кислоты и основания) и соли.

**Оксиды** – это соединения двух элементов, один из которых кислород. Характер оксида определяется его способностью образовывать соли с кислотами и основаниями (а также с кислотными и основными оксидами).

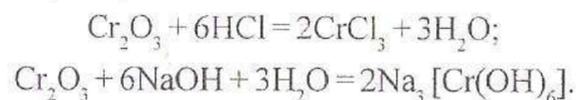
Кислотные оксиды ( $SO_2, SO_3, P_2O_5, SiO_2$  и др.) образуют соли только с основаниями или основными оксидами. Например:



Основные оксиды ( $Na_2O, CaO, Bi_2O_3$  и др.) характеризуются реакцией солеобразования только с кислотами и кислотными оксидами, например:



Амфотерные оксиды ( $ZnO, Al_2O_3, Cr_2O_3$  и др.) образуют соли и с кислотами, и с основаниями, например:



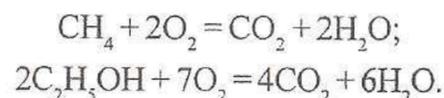
Если элемент образует оксиды в нескольких степенях окисления, то оксиды разделяются на амфотерные, основные и кислотные. Как правило, оксиды высших степеней окисления являются кислотными, а низших – основными. Так,  $MnO_2$  – амфотерный оксид,  $MnO_3, Mn_2O_7$  – кислотные, а  $MnO$  – основной.

Способы получения оксидов различны. Главные из них:

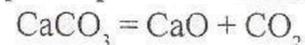
**1. Взаимодействие простого вещества с кислородом:**



**2. Горение сложных веществ:**



**3. Разложение при нагревании кислородных соединений:**

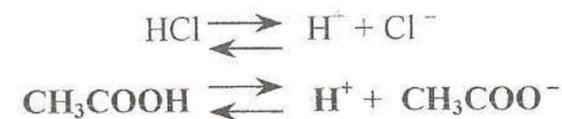


**1.2. Кислоты и основания (гидроксиды)**

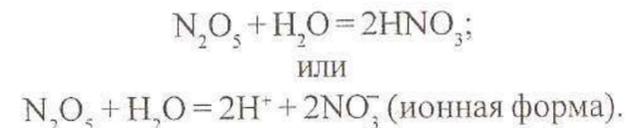
При взаимодействии (прямом или косвенном) оксидов с водой образуются их гидратные формы, которые имеют характер кислот, оснований и амфотерных гидроксидов.

**Кислотами** называют электролиты, которые при диссоциации образуют катионы водорода.

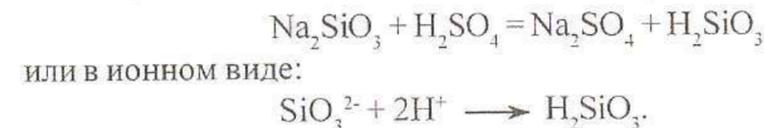
Например:



**Получение.** Многие кислородные кислоты получают при взаимодействии оксида с водой:



Если оксиды нерастворимы в воде, то отвечающие им кислоты получают действием другой кислоты на соответствующую соль:



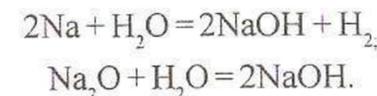
Бескислородные кислоты ( $H_2S, HCl, HBr$  и т. д.) получают взаимодействием водорода с неметаллом с последующим растворением в воде водородного соединения.

**Основаниями** называют электролиты, которые при диссоциации образуют анион  $OH^-$ .

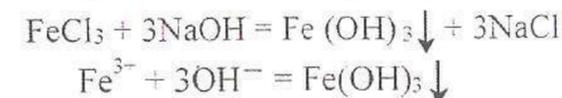


Основания, растворимые в воде, называются щелочами ( $NaOH, KOH$  и др.)

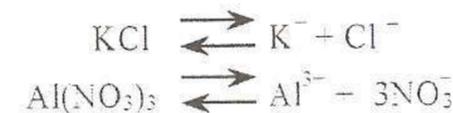
**Получение.** Растворимые в воде основания получают при взаимодействии металлов или их оксидов с водой, например:



Нерастворимые в воде основания получают действием щелочей на водные растворы соответствующих солей, например:

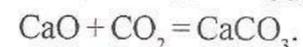
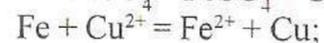
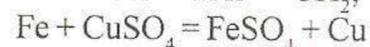
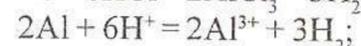
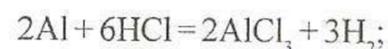


**Солями** называют электролиты, которые при диссоциации образуют катионы металлов и анионы кислотных остатков. Например:



По составу различают следующие типы солей: средние –  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , кислотные –  $\text{NaHSO}_4$ , основные –  $\text{MnOHCl}$  и двойные –  $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$ .

**Получение.** Способы получения солей весьма разнообразны: соли можно получить реакцией нейтрализации, взаимодействием металлов с кислотами, солями, неметаллами, взаимодействием кислот с основными оксидами, взаимодействием основных оксидов с кислотами, взаимодействием щелочей с солями и т. д. Приведем несколько примеров:



Нужно иметь в виду, что не всякую соль можно получить по тому или иному способу. При выборе способа всегда следует учитывать растворимость исходных и получаемых веществ или расположение металлов в ряду напряжений и т. д. Например, нельзя осуществить взаимодействие  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  с  $\text{KCl}$ , ибо  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  практически нерастворим в воде.

## 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

### 2.1. Получение кислот

#### Получение угольной кислоты

В пробирку налить 2–3 мл дистиллированной воды и пропустить в нее (5 мин) диоксид углерода из аппарата Киппа. Затем к полученному раствору добавить 1–2 капли универсального индикатора. Отметьте цвет раствора и определите pH раствора. Что получилось при растворении в воде углекислого газа? Напишите уравнение реакции.

#### Получение уксусной кислоты

В пробирку внести несколько капель ацетата натрия ( $\text{NaCH}_3\text{COO}$ ) и добавить 2–3 капли серной кислоты. Отметьте ощущаемый запах. Напишите уравнение реакции в молекулярной и ионной форме.

### 2.2. Получение оснований

#### Получение гидроксида магния

В пробирку внести несколько кристаллов оксида магния, прибавить 2–3 мл воды и, пользуясь универсальным индикатором, определить pH полученного раствора. Напишите уравнение реакции.

#### Получение гидроксида цинка

В две пробирки внести 2–3 капли раствора соли цинка. Добавить по каплям раствор гидроксида натрия до образования осадка. Напишите уравне-

ние реакции в молекулярном и ионном виде. Докажите амфотерность гидроксида цинка.

### 2.3. Получение солей

#### Получение кислой соли

В пробирку налить 2–3 мл известковой воды ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) и пропустить через раствор углекислый газ до помутнения раствора и затем продолжить дальше пропускать газ. Что при этом наблюдаете? Объясните происходящий процесс, напишите уравнения реакций.

#### Получение основной соли

В пробирку внести 2–3 капли сульфата кобальта (II) и прилить по каплям раствор гидроксида натрия до образования синего осадка. Напишите уравнение реакции в молекулярной и ионной форме.

#### Получение соли реакцией замещения

В пробирку налить 1–2 мл раствора сульфата меди и опустить в раствор кусочек металлического цинка. Содержимое пробирки слегка нагреть. Что при этом наблюдаете? Напишите уравнение реакции в молекулярном и ионном виде.

Аналогично проведите реакцию взаимодействия цинка с соляной кислотой. Напишите уравнение реакции в молекулярной и ионной форме.

#### Получение соли реакцией обмена

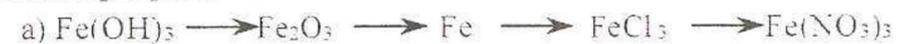
В пробирку внести 2–3 капли раствора нитрата серебра и добавить хлорида калия. Что наблюдаете? Напишите уравнение реакции в молекулярной и ионной форме.

#### Получение соли реакцией нейтрализации

В пробирку налить 1–2 мл баритовой воды ( $\text{Ba}(\text{OH})_2$ ) и добавить несколько капель серной кислоты. Что при этом наблюдаете? Напишите уравнение реакции в молекулярной и ионной форме.

### Контрольные вопросы и упражнения

1. Что называется оксидами? Какие группы оксидов вы знаете?
2. Охарактеризуйте химические свойства оксидов
3. Что такое кислоты? Какие кислоты называются кислородными и какие бескислородными?
4. Как определяется основность кислот? Охарактеризуйте химические свойства кислот.
5. Какие гидроксиды называются амфотерными? Как определяется кислотность оснований?
6. Какие виды солей различают?
7. Составить уравнения, с помощью которых можно осуществить следующие превращения:



## Лабораторная работа № 2

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЛЯРНОЙ МАССЫ ЭКВИВАЛЕНТА МЕТАЛЛА

**Цель работы:** а) Повторить основные понятия химии. б) Изучить понятие эквивалент, молярная масса эквивалента, закон эквивалентов. в) Научиться практически определять молярную массу эквивалента металла методом вытеснения водорода из кислоты.

#### 1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Атомы, молекулы, ионы, радикалы, эквиваленты, атомные группы, т.е. любой вид реальных частиц и условно существующие доли таких частиц называются элементарными объектами.

В химии применяются не абсолютные значения масс элементарных объектов, а относительные. За единицу относительных атомных масс с 1961 г. принята **атомная единица массы** (а.е.м.) равная  $1/12$  массы атома углерода  $C^{12}$ .

**Относительная атомная масса элемента (A)** – величина безразмерная, равна отношению средней массы атома элемента к  $1/12$  массы атома углерода  $C^{12}$  и выражается в а.е.м.

«г» – начальная буква английского слова «relative» – относительный.

**Относительная молярная масса вещества (M<sub>r</sub>)** – величина безразмерная и равна отношению массы молекулы вещества к  $1/12$  массы атома углерода.

$$M_r = A_{r1} + A_{r2} + A_{r3} + \dots$$

$A_r$  и  $M_r$  показывают во сколько раз масса атома и молекулы больше  $1/12$  массы атома углерода.

В международной системе единиц (СИ) за единицу количества вещества принят **моль**.

**Моль (n)** – это количество вещества, содержащее столько структурных единиц, сколько атомов содержится в 12 г углерода  $C^{12}$ , т.е. моль – это мера количества вещества.

Один моль любого вещества содержит одно и то же число элементарных объектов –  $6,02 \times 10^{23}$  – число Авогадро ( $N_A$ ).

Различают моль атомов хлора –  $n(Cl)$ , моль ионов хлора –  $n(Cl^-)$ .

**Молярная масса вещества – M(A)** – величина, равная отношению массы вещества  $m(A)$  к его количеству  $n$ , имеет размерность г/моль или кг/моль.

$$M(A) = m(A) / n(A) \text{ г/моль}$$

или молярная масса вещества  $M(A)$  – это масса одного моль вещества, численно равная его относительной молярной массе ( $M_r$ ).

Пример:  $M_r(H_2SO_4) = 98$  а.е.м.  $M(H_2SO_4) = 98$  г/моль  
 $M_r(NaOH) = 40$  а.е.м.  $M(NaOH) = 40$  г/моль.

Между массой вещества –  $m(A)$ , количеством –  $n(A)$ , молярной массой –  $M(A)$  существуют простые соотношения:

- $M(A) = m(A) / n(A)$
- $n(A) = m(A) / M(A)$
- $m(A) = M(A) \times n(A)$ ,

где:  $m(A)$  – выражается в г, кг;  
 $n(A)$  – в моль (слово «моль» не склоняется!);  
 $M(A)$  – в г/моль, кг/моль.

В 1792 г. Рихтером сформулирован закон эквивалентов: химические вещества взаимодействуют друг с другом в количествах, пропорциональных их эквивалентам.

**Эквивалентом вещества ( $\mathcal{E}$ )** называют такую его формульную единицу (часть атома, молекулы, иона), которая равноценна по своему действию одному атому водорода в данной реакции.

$$\mathcal{E} = \frac{1}{Z} A, \quad \text{где: } \mathcal{E} - \text{эквивалент};$$

$$f_{\text{эkv}} = \frac{1}{Z}, \quad \frac{1}{Z} - \text{фактор эквивалентности};$$

$$Z - \text{число эквивалентности};$$

$$A - \text{вещество (формула)}.$$

**Фактор эквивалентности ( $f(A)$ )** – число, равное той доле частицы  $A$ , которая является эквивалентом вещества в данной реакции.

$$\mathcal{E}_{H_2SO_4} = \frac{1}{2} H_2SO_4; f_{\text{эkv}} = \frac{1}{2}$$

$$\mathcal{E}_{Ca} = \frac{1}{2} Ca; f_{\text{эkv}} = \frac{1}{2}; Z - \text{валентность элемента}.$$

Пользуясь понятием «моль» как единицей количества вещества, можно дать следующее определение химического эквивалента вещества:

**Эквивалент элемента** – это такое его количество, которое соединяется с одним моль атомов водорода или замещает то же количество атомов водорода в соединениях.

**Эквивалентом соединения** называется определенное количество сложного вещества, которое полностью взаимодействует с одним эквивалентом водорода или другого вещества.

HCl	$\mathcal{E}_{Cl} = \frac{1}{1} Cl$	$f_{\text{эkv}(Cl)} = \frac{1}{1}$
H <sub>2</sub> O	$\mathcal{E}_O = \frac{1}{2} O$	$f_{\text{эkv}(O)} = \frac{1}{2}$
NH <sub>3</sub>	$\mathcal{E}_N = \frac{1}{3} N$	$f_{\text{эkv}(N)} = \frac{1}{3}$
CH <sub>4</sub>	$\mathcal{E}_C = \frac{1}{4} C$	$f_{\text{эkv}(C)} = \frac{1}{4}$

Так, фактор эквивалентности простого вещества определяется валентностью элемента.

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{\text{Al}} &= \frac{1}{3} \text{Al} & f_{\text{экв}} &= \frac{1}{3} \\ \mathcal{E}_{\text{C}} &= \frac{1}{4} \text{C} & f_{\text{экв}} &= \frac{1}{4} \end{aligned}$$

Фактор эквивалентности сложных веществ определяется числом замещенных частиц.

Кислота

$$\begin{cases} f_{\text{экв}(\text{H}_2\text{SO}_4)} = \frac{1}{2} \\ \mathcal{E}_{\text{H}_2\text{SO}_4} = \frac{1}{2} \text{H}_2\text{SO}_4 \end{cases} \quad \begin{cases} f_{\text{экв}(\text{H}_3\text{PO}_4)} = \frac{1}{3} \\ \mathcal{E}_{\text{H}_3\text{PO}_4} = \frac{1}{3} \text{H}_3\text{PO}_4 \end{cases}$$

Основание

$$\begin{cases} f_{\text{экв}(\text{HNO}_3)} = \frac{1}{1} \\ \mathcal{E}_{\text{HNO}_3} = \frac{1}{1} \text{HNO}_3 \end{cases} \quad \begin{cases} f_{\text{экв}(\text{H}_2\text{CO}_3)} = \frac{1}{2} \\ \mathcal{E}_{\text{H}_2\text{CO}_3} = \frac{1}{2} \text{H}_2\text{CO}_3 \end{cases}$$

$$\begin{cases} f_{\text{экв}(\text{NaOH})} = \frac{1}{1} \\ \mathcal{E}_{\text{NaOH}} = \frac{1}{1} \text{NaOH} \end{cases} \quad \begin{cases} f_{\text{экв}(\text{Ca}(\text{OH})_2)} = \frac{1}{2} \\ \mathcal{E}_{\text{Ca}(\text{OH})_2} = \frac{1}{2} \text{Ca}(\text{OH})_2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} f_{\text{экв}(\text{Cr}(\text{OH})_3)} = \frac{1}{3} \\ \mathcal{E}_{\text{Cr}(\text{OH})_3} = \frac{1}{3} \text{Cr}(\text{OH})_3 \end{cases}$$

Соль

$$\begin{cases} f_{\text{экв}(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3)} = \frac{1}{6} \\ \mathcal{E}_{\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3} = \frac{1}{6} \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \end{cases} \quad \begin{cases} f_{\text{экв}(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2)} = \frac{1}{6} \\ \mathcal{E}_{\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2} = \frac{1}{6} \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \end{cases}$$

$Z = n \times m$ , где:  $n$  – валентность металла

$m$  – число атомов металла

Оксид

$$\begin{cases} f_{\text{экв}(\text{P}_2\text{O}_5)} = \frac{1}{10} \\ \mathcal{E}_{\text{P}_2\text{O}_5} = \frac{1}{10} \text{P}_2\text{O}_5 \end{cases} \quad \begin{cases} f_{\text{экв}(\text{SiO}_2)} = \frac{1}{4} \\ \mathcal{E}_{\text{SiO}_2} = \frac{1}{4} \text{SiO}_2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} f_{\text{экв}(\text{Al}_2\text{O}_3)} = \frac{1}{6} \\ \mathcal{E}_{\text{Al}_2\text{O}_3} = \frac{1}{6} \text{Al}_2\text{O}_3 \end{cases} \quad \begin{cases} f_{\text{экв}(\text{Na}_2\text{O})} = \frac{1}{2} \\ \mathcal{E}_{\text{Na}_2\text{O}} = \frac{1}{2} \text{Na}_2\text{O} \end{cases}$$

Молярная масса эквивалента вещества  $M(f_{\text{экв}} \text{A})$  или  $M_{\mathcal{E}}(\text{A})$  – это масса одного эквивалента вещества и равна произведению фактора эквивалентности на молярную массу вещества.

$$M_{\mathcal{E}}(\text{A}) = \frac{1}{z} \times M(\text{A}) \text{ г/моль} \quad \text{или} \quad M(\frac{1}{z} \text{A}) = \frac{1}{z} \times M(\text{A})$$

$$\begin{cases} M(\frac{1}{2} \text{Fe}) = \frac{1}{2} \times M(\text{Fe}) \\ M(\frac{1}{3} \text{Fe}) = \frac{1}{3} \times 56 = 18,7 \text{ г/моль} \end{cases} \quad \begin{cases} M(\frac{1}{2} \text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{1}{2} \times M(\text{H}_2\text{SO}_4) \\ M(\frac{1}{2} \text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{1}{2} \times 98 = 49 \text{ г/моль} \end{cases}$$

Эквивалент, фактор эквивалентности и молярная масса эквивалента вещества не являются величиной постоянной и определяются количеством замещенных частиц в данной реакции.

Например:



в реакции замещается один атом водорода,

$$\mathcal{E}_{\text{H}_3\text{PO}_4} = \frac{1}{1} \text{H}_3\text{PO}_4; \quad M_{\mathcal{E}}(\text{H}_3\text{PO}_4) = \frac{1}{1} \times M(\text{H}_3\text{PO}_4)$$



в реакции замещаются два атома водорода

$$\mathcal{E}_{\text{H}_3\text{PO}_4} = \frac{1}{2} \text{H}_3\text{PO}_4; \quad M_{\mathcal{E}}(\text{H}_3\text{PO}_4) = \frac{1}{2} \times M(\text{H}_3\text{PO}_4)$$



в реакции замещаются три атома водорода

$$\mathcal{E}_{\text{H}_3\text{PO}_4} = \frac{1}{3} \text{H}_3\text{PO}_4; \quad M_{\mathcal{E}}(\text{H}_3\text{PO}_4) = \frac{1}{3} \times M(\text{H}_3\text{PO}_4)$$

В окислительно-восстановительных реакциях эквивалент, фактор эквивалентности определяется числом отданных или присоединенных электронов в данной реакции.

Например:



$$\mathcal{E}_{\text{KMnO}_4} = \frac{1}{5} \text{KMnO}_4; \quad M_{\mathcal{E}}(\text{KMnO}_4) = \frac{1}{5} \times M(\text{KMnO}_4), \quad \text{т.к.}$$



Итак, молярная масса эквивалента вещества в реакциях обмена и замещения равна молярной массе этого вещества, деленной на число замещенных частиц.

Пользуясь понятием молярной массы эквивалента вещества, можно сформулировать закон эквивалентов:

Массы реагирующих веществ пропорциональны молярным массам их эквивалентов.

Математическое выражение закона эквивалентов:

$$m(\text{A}) / m(\text{B}) = \mathcal{E}_{\text{A}} / \mathcal{E}_{\text{B}}; \quad m(\text{A}) / m(\text{B}) = M_{\mathcal{E}}(\text{A}) / M_{\mathcal{E}}(\text{B})$$

Эквивалентным объемом ( $V_{\mathcal{E}}$ ) называется объем, занимаемый одним эквивалентом вещества при нормальных условиях.

Например: для кислорода  $M(\text{O}_2) = 32 \text{ г/моль}$   
 $32 \text{ г/моль} \quad \text{---} \quad 22,4 \text{ л}$

$$8 \text{ г/моль} \quad \text{---} \quad X$$

$$X = 5,6 \text{ л (дм}^3\text{)}$$

$$M_{\mathcal{E}}(\text{O}) = \frac{1}{2} \times 16 = 8 \text{ г/моль}, \quad M_{\mathcal{E}}(\text{O}_2) = \frac{1}{4} \times 32 = 8 \text{ г/моль}$$

## 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Определение молярной массы эквивалента металла производится в приборе (рис. 2.1).

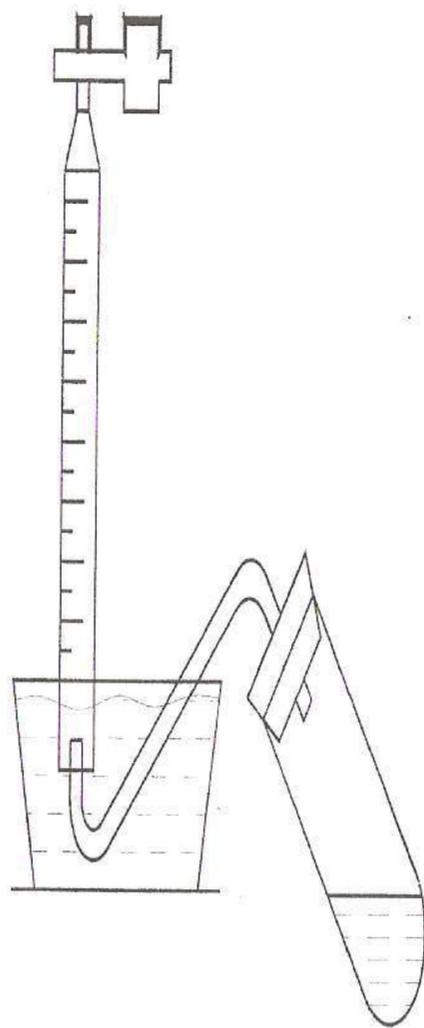


Рис. 2.1. Прибор для определения молярной массы эквивалента металла

Наполните бюретку водой и, закрыв ее пальцем, переверните в чашку с водой, при этом следите, чтобы уровень воды в бюретке в перевернутом состоянии не выходил за ее градуированную часть. Пользуясь зажимом бюретки, установите уровень воды на конечном делении бюретки. Затем подведите газоотводную трубку от пробирки под бюретку. Получите у преподавателя определенную навеску металла. Сразу же запишите ее массу в тетрадь (рабочий журнал).

В пробирку налейте около 3 мл соляной кислоты с помощью пипетки так, чтобы стенки пробирки не были смочены кислотой.

Пробирку с кислотой наклоните и осторожно положите на ее стенку навеску металла, следя за тем, чтобы металл преждевременно не попал в кислоту. Пробирку закройте газоотводной трубкой, ранее подведенной под бюретку. Встряхните пробирку так, чтобы металл упал в кислоту. В результате протекания реакции выделяется водород, который вытесняет воду из бюретки. Когда выделение водорода прекратится, запишите его объем по разности уровней воды в бюретке в начальном и конечном состояниях.

Запишите температуру ( $t^{\circ}\text{C}$ ) и давление ( $P_t$ ) опыта. Результаты измерений запишите по форме:

$m$  – масса металла в мг;

$t^{\circ}$  – температура комнатная;

$P_t$  – атмосферное давление во время проведения опыта в мм рт. ст.;

$V_t$  – объем выделившегося водорода (мл);

$h$  – упругость водяных паров при данной температуре (находятся по таблице).

### Расчеты

Объем выделившегося водорода приведите к нормальным условиям, т.е. к объему газа при  $0^{\circ}\text{C}$  (273 К) и давлении 760 мм рт. ст., пользуясь формулой объединенного газового закона Бойля-Мариотта и Гей-Люссака:

$$P_0 V_0 / T_0 = P_t V_t / T,$$

где  $P_0 = 760$  мм рт. ст.;

$V_0$  – объем газа при нормальных условиях (мл);

$T_0 = 273$  К;

$P_t$  – атмосферное давление по барометру (мм рт. ст.);

$V_t$  – объем газа при данных условиях (мл);

$T = 273 \text{ К} + t^{\circ}$  во время опыта.

Из приведенной формулы найти  $V_0$ :

$$V_0 = \frac{T_0 (P_t - h) \times V_t}{P_0 T},$$

где  $h$  – упругость водяных паров; эта поправка введена вследствие того, что давление над водой складывается из давления водорода и водяных паров при данной температуре.

Затем вычислите массу выделившегося водорода, зная, что один литр водорода при нормальных условиях весит 0,089 г.

Зная массу металла и массу вытесненного им водорода, рассчитайте молярную массу эквивалента металла, исходя из закона эквивалентов:

$$m(\text{Me}) / m(\text{H}_2) = M_3(\text{Me}) / M_3(\text{H}_2); \quad M_3(\text{Me}) = m(\text{Me}) \times M_3(\text{H}_2) / m(\text{H}_2).$$

Назовите металл, молярная масса эквивалента которого была вами найдена.

Рассчитайте  $M_3(\text{Me})$  теоретически и найдите в процентах ошибку опыта.

$$X\% = (M_3(\text{Me})_{\text{теор}} - M_3(\text{Me})_{\text{эксп}}) / M_3(\text{Me})_{\text{теор}} \times 100\%$$

## Контрольные вопросы

1. Дать понятие химического эквивалента, фактора эквивалентности.
2. Определение эквивалента простого вещества, сложных веществ. Привести примеры.
3. Молярная масса эквивалента вещества. Определение, формулы расчета.
4. Является ли молярная масса эквивалента вещества постоянной? Ответ обоснуйте.
5. Закон эквивалентов. Формулировка, математическое выражение.

## Лабораторная работа № 3

### СТРОЕНИЕ АТОМА

**Цель:** Изучить строение электронных оболочек атомов. Научиться писать электронные формулы и изображать графически электронную структуру атома.

#### 1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

##### Современные представления о строении атома

Атом представляет собой сложную электронейтральную микросистему находящихся в движении элементарных частиц.

Он состоит из положительно заряженного ядра, в котором сосредоточена почти вся масса атома, и отрицательно заряженных электронов, в совокупности образующих электронную оболочку. Ядро содержит протоны, нейтроны и другие элементарные частицы.

Число электронов в атоме равно заряду его ядра. Свойства атомов определяются зарядом их ядер, числом электронов и их состоянием в атоме.

##### Двойственная природа электронов

Характеристика состояния электронов в атомах основана на положении квантовой механики о двойственной природе электрона, обладающего одновременно свойствами частицы и волны.

Впервые двойственная корпускулярно-волновая природа была установлена для света.

Исследование ряда явлений (излучения раскалённых тел, фотоэффект, атомные спектры) привели к выводу, что энергия испускается и поглощается (передается) не непрерывно, а дискретно, отдельными порциями – квантами. Предположение о квантовании энергии впервые было высказано Максом Планком (1900 г.) и позже обосновано Альбертом Эйнштейном (1905 г.). Энергия кванта ( $E$ ) зависит от частоты излучения ( $\nu$ ):  $\Delta E = h \times \nu$ , где  $h$  – универсальная постоянная (постоянная Планка) =  $6,63 \times 10^{-34}$  Дж.с.

Приравняв энергию фотона  $h \times \nu$  к полному запасу его энергии  $mc^2$  и, учитывая, что  $\nu = c/\lambda$ , получим соотношение:  $\lambda = h/mc$ , выражающее взаимосвязь волновых и корпускулярных свойств фотона.

В 1924 г. Луи де Бройль предположил, что двойственная корпускулярно-волновая природа присуща не только излучению, но и любой материальной частице; при этом любой частице, имеющей массу  $m$  и движущейся со скоростью  $v$ , соответствует волна длиной  $\lambda$ :

$$\lambda = h/mv \text{ – уравнение де Бройля.}$$

При большой массе частиц, длина волны становится весьма малой. Например, у частицы с массой 1 кг, движущейся со скоростью 1 см/с,  $\lambda = 6,6 \times 10^{-27}$  см. Поэтому обнаружить волновые свойства у макрочастиц трудно. С движением электрона ( $m = 9,1 \times 10^{-28}$  г,  $v = 10^8$  см/с) ассоциирует волна длиной порядка  $10^{-8}$  см, т.е. длина волны соизмерима с размерами атомов.

### Принцип неопределённости

В волновых свойствах заложен один из принципов волновой механики – (принцип неопределённости (соотношения) Гейзенберга (1925 г.): для малых тел атомного масштаба невозможно одновременно точно определить положение частицы в пространстве (т.е. её координаты) и её скорость (или импульс  $P = mv$ ). Чем точнее определены координаты частицы, тем менее определённой становится её скорость, и наоборот.

### Квантово-механическое описание атома.

Состояние электрона в атоме нельзя представить как движение материальной частицы по какой-то орбите. В квантовой механике представление об электронной орбите заменено представлением о вероятности нахождения электрона в различных областях пространства. Современным представлениям отвечает понятие об электронном облаке, плотность которого определяется вероятностью пребывания электрона.

Поскольку движение электрона в атоме имеет волновой характер, квантовая механика описывает его движения в атоме при помощи так называемой волновой функции  $\psi$ . В общем случае волновая функция зависит от координат трёхмерного пространства и от времени. Для стационарного состояния  $\psi = \psi(x, y, z)$ , где  $x, y, z$  – координаты точки.

Физический смысл волновой функции объясняется трудно. Она является формально трёхмерным аналогом амплитуды плоской волны.

В литературе для обозначения совокупности положений электрона в атоме пользуются понятием «орбиталь».

Пространство вокруг ядра, в котором наиболее вероятно нахождение электрона, называется орбиталью.

Электрон обладает тремя степенями свободы поступательного движения (три координаты). Это приводит к тому, что в решении волнового уравнения появляются три величины, принимающие только целочисленные значения:  $n, l, m$ , которые называются **квантовыми числами**.

Волновая функция при заданных трёх квантовых числах ( $n, l, m$ ) называется **атомной орбиталью** (АО).

Состояние электрона или орбиталь однозначно определяется набором квантовых чисел  $n, l, m$ . Этот вывод имеет общее значение, так как квантовые

числа определяют состояние электрона не только в атоме водорода, но и в любом другом атоме.

В графических схемах электронного строения атомов каждая орбиталь обозначается  $\square$  или  $\_$ .

Рассмотрим характеристику каждого квантового числа. Главное квантовое число  $n$  характеризует энергию электрона на орбитали, размер электронного облака, т.е. среднее радиальное расстояние максимума электронной плотности данной атомной орбитали от ядра, т.е. удалённость электрона от ядра; показывает номер энергетического уровня (орбитали) от ядра.

Число  $n$  принимает значения от 1 до  $\infty$ , а для атомов в невозбуждённом состоянии от 1 до 7. « $n$ » не может равняться нулю, т.к. тогда энергия электрона станет равной  $\infty$ , что не имеет физического смысла.

Уровни, отвечающие значениям квантового числа  $1, 2, 3, \dots$ , обозначаются ещё буквами  $K, L, M, \dots$ . Если  $n = \infty$ , т.е. электрон удаляется на бесконечно большое расстояние от ядра, его энергия равна работе ионизации.

$n = 1(K)$  – первый уровень;

$n = 2(L)$  – второй уровень;

$n = 3(M)$  – третий уровень.

Энергия электрона в атоме квантована и определяется главным квантовым числом.

Когда говорят об энергии АО, подразумевают энергию электрона, находящегося на этой орбитали. Единственный электрон атома водорода будет стремиться занять орбиталь с наименьшей энергией. В этом случае атом водорода будет находиться в самом устойчивом состоянии или в основном состоянии.

Основным состоянием атомной системы называется состояние с наименьшей полной энергией. Остальные возможные состояния атома будут возбуждёнными. Возбуждённым состоянием атомной системы называется состояние, в котором полная энергия системы выше энергии основного состояния.

Так как электрон обладает наряду со свойствами волны и свойствами материальной частицы, то он обладает массой  $m$ , скоростью движения  $v$ , и, находясь на расстоянии  $r$  от ядра, обладает **моментом количества движения**  $\mu = mvr$ .

Момент количества движения – вторая (после энергии) характеристика электрона и выражается эта характеристика через орбитальное квантовое число  $l$ .

Орбитальное, или азимутальное, или побочное квантовое число  $l$  характеризует форму орбитали, следовательно, форму электронных облаков, подуровень энергии, определяет величину орбитального момента количества движения, т.е.  $l$  характеризует энергетическое состояние электрона в подуровне и форму электронного облака. Электроны уровня группируются в подуровни.

$l$  принимает значения от 0 до  $(n-1)$ ,  $l = 0, 1, 2 \dots (n-1)$ .

$n=1$   $l=0$  Каждый уровень имеет определённое  
 $n=2$   $l=0, 1$  число значений  $l$ , причём каждый  
 $n=3$   $l=0, 1, 2$  начинается с  $s$ -орбитали.  
 $n=4$   $l=0, 1, 2, 3$

$s p d f$

$l=1$  – это  $p$ -орбиталь;

$l=2$  – это  $d$ -орбиталь;

$l=3$  – это  $f$ -орбиталь;

$l=0$  – это  $s$ -орбиталь;

В пределах энергетического уровня электроны располагаются по подуровням.

В каждом квантовом уровне число подуровней строго ограничено и равно номеру слоя.

$n=1$ , один подуровень:  $s$

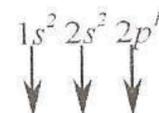
$n=2$ , два подуровня:  $s$  и  $p$

$n=3$ , три подуровня:  $s$ ,  $p$  и  $d$

Главное квантовое число $n$	Орбиталь $l$	Число подуровней	Обозначение подуровня
1	0	1	1s
2	0, 1	2	2s 2p
3	0, 1, 2	3	3s 3p 3d
4	0, 1, 2, 3	4	4s 4p 4d 4f

Подуровни, как и энергетические уровни, нумеруются в порядке их удаления от ядра.

Появляются специальные формулы записи:



$s, p$  – номер подуровня

2.2.1 (в степенях) – число электронов

номер уровня

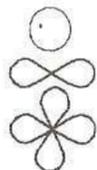
Максимальное число электронов на подуровне строго лимитировано  $s^2 p^6 d^{10} f^{14}$  и равно  $2(2l+1)$ .

Отмечалось, что  $l$  характеризует форму электронного облака. Согласно квантомеханическим расчётам

$s$ -орбитали имеют сферическую форму

$p$ -орбитали имеют форму гантели

$d$ -орбитали имеют форму сложную



Магнитное квантовое число  $m_l$  характеризует ориентацию орбитали (электронного облака) в пространстве; определяет направление вектора

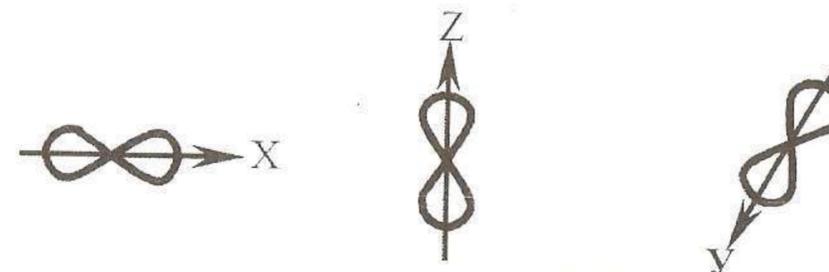
момента количества движения, т.е. значение проекции орбитального углового момента на выделенное пространство, определяет число электронных орбиталей с данным  $l$ .

$m_l = -l \dots 0 \dots +l$ , всего  $(2l+1)$  значений.

Формула  $m_l = 2l + 1$  определяет максимальное число энергетических состояний электронов для данного подуровня, т.е. общее число орбиталей с данным  $l$ .

Например, для электрона с  $l=1$   $m_l = -1, 0, +1$  – три значения  $m_l$ . Это отвечает трём различным ориентациям  $p$ -облака в пространстве, т.е. трём орбиталам:

$P_x, P_y, P_z$



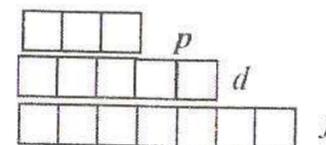
Графически эти три орбитали изображаются    ячейками.

Таким образом,  $s$ -состоянию при  $l=0$  отвечает одна орбиталь

$l=1$  ( $p$ ) три

$l=2$  ( $d$ ) пять

$l=3$  ( $f$ ) семь



Электрон обладает и собственным магнитным моментом, представление о котором введено в физику в 1925 г. Уленбеком и Гаудсмитом. Для полного описания поведения электрона вводится четвёртое квантовое число – спиновое  $m_s$  или просто *спин*. Упрощённо спин можно представить как вращение электрона вокруг собственной оси.  $m_s$  – характеризует момент количества движения электрона вокруг собственной оси.

Возможно только два значения  $m_s = \pm 1/2$ .

Электроны с одинаковым направлением вращения имеют одинаковые значения спинов или, как говорят, *параллельные спины*  $\uparrow\uparrow$ , а с противоположными – разное значение спинов, т.е. *антипараллельные*  $\uparrow\downarrow$ .

Значит, на  $s$ -подуровне один электрон имеет  $m_s = +1/2$ , а второй  $m_s = -1/2$ , т.е. может быть только два электрона, на  $p$  –  $6\bar{e}$ ,  $d$  –  $10\bar{e}$ ,  $f$  –  $14\bar{e}$ .

Итак, четыре квантовых числа  $n, l, m_l, m_s$  полностью характеризуют состояние (движение) электрона в атоме. Квантовые числа определяют энергию электрона, размер и форму его облака и спиновый момент. При изменении состояния электрона меняются его квантовые числа, т.е. электрон переходит с одной атомной орбитали на другую, при этом поглощается или испускается квант энергии.

## Принципы и последовательность заполнения атомных орбиталей в многоэлектронном атоме

В многоэлектронном атоме имеется  $Z$  электронов. Состояние электронов также однозначно определяется значениями квантовых чисел. При заполнении атомных орбиталей электронами соблюдаются следующие принципы:

**1. Принцип Паули:** В 1925 г. Вольфганг Паули сформулировал принцип: в атоме не может быть двух электронов с одинаковыми значениями всех четырёх квантовых чисел.

Из принципа Паули следует, что на одной орбитали может находиться только два электрона с противоположными спинами  $\uparrow\downarrow$ , не более. Такие электроны называются *спаренными*.

Ёмкость энергетического уровня составляет  $2n^2$ .

$$N_n = 2n^2$$

### 2. Принцип наименьшей энергии

Распределение электронов по уровням обусловлено требованием минимума энергии: электроны в атоме стремятся занять положение с наименьшей энергией, что отвечает максимальной устойчивости. Поэтому атомные орбитали заполняются в порядке последовательного возрастания их энергий, начиная с первого уровня до седьмого, а подуровни в последовательности s, p, d, f. В действительности указанный порядок соблюдается только для первых 3 периодов (18 элементов). Из спектральных данных получена следующая схема, отражающая порядок распределения электронов в атомах, т.е. порядок увеличения энергии:

$$1s < 2s < 2p < 3s < 3p < 4s < 3d < 4p < 5s < 4d < 5p < 6s < 4f < 5d < 6p \text{ и т.д.}$$

Как видно из схемы, начиная с 4 периода последовательность заполнения подуровней определяется не только значениями главного квантового числа  $n$ , но и значениями орбитального квантового числа  $l$ ,  $n = 1$   $1s^2$ ;  $n = 2$   $2s^2 2p^6$ .

$$\text{Третий период: } Na \ 1s^2 2s^2 2p^6 3s^1 \\ Ar \ 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$$

Аргоном заканчивается третий период. Но для  $n = 3$   $l = 0, 1, 2$  т.е. существует ещё 5 орбиталей  $d$ -состояния.

За  $Ar$  идёт  $K$  – первый представитель периода. На какой подуровень пойдёт электрон – на  $3d$  или  $4s$ ?

$E_{3d} > E_{4s}$ , и хотя в третьем слое остаются незаполненными, вакантными пять  $3d$ -орбиталей, у калия и кальция заполняются  $4s^1$  и  $4s^2$ . Аналогичная картина будет при переходе от 4 к 5 периоду.

На основе анализа зависимости энергии электрона от порядкового номера советский учёный В.М.Клечковский (1954 г.) сформулировал правила последовательности заселения электронных оболочек:

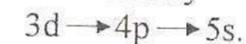
1. Сначала заполняются орбитали с меньшим значением суммы главного и орбитального квантового числа  $(n + l)$  – *первое правило Клечковского*.

2. При одинаковых значениях суммы  $(n + l)$  в первую очередь заполняются орбитали с меньшим значением главного квантового числа  $n$  – *второе правило Клечковского*.

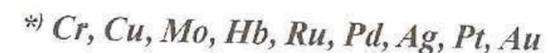
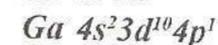
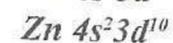
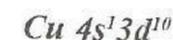
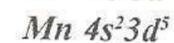
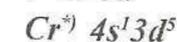
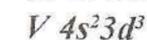
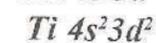
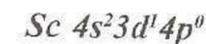
Рассмотренное электронное строение  $K$  и  $Ca$  соответствует правилу Клечковского. Для  $4s$ -орбитали  $n = 4, l = 0$   $(n+l) = 4$ , а для  $3d$ -орбитали  $n = 3, l = 2$   $(n+l) = 5$ . Поэтому  $4s$  заполняется раньше, чем  $3d$ .

Состояние	3s	3p	3d	4s	4p	4d	4f	5s	5p
$n + l$	3+0 3	3+1 4	3+2 5	4+0 4	4+1 5	4+2 6	4+3 7	5+0 5	5+1 6

Из таблицы видно, что  $3d$  ( $n + l = 5$ ) заполняется после  $4s$ ,  $3d$ ,  $5s$  имеют одинаковую сумму  $(n + l)$ , но согласно второму правилу Клечковского будет идти заполнение от меньшего  $n$  к большему



Например, начиная с 21-го элемента скандия заполняется  $3d$ , хотя имеется два выбора  $4p$  ( $4 + 1 = 5$ ) и  $3d$  ( $3 + 2 = 5$ ) – действует 2-ое правило  $n = 3 < n = 4$ .  $Sc$  и  $Cu$  составляют исключение, для них наблюдается «провал» или «проскок» одного электрона с  $4s^2$  – орбитали на  $3d$  – орбиталь. Полностью  $3d$ -оболочка заполнена у  $Zn$ . У галлия начнёт заполняться  $4p$ -орбиталь.



\* – для этих атомов наблюдается проскок электрона.

Существуют два условных способа изображения заселённости электронных оболочек атомов:

1. В виде электронных формул, например:  $1s^2 2s^2 2p^3$ .

2. В форме квантовых ячеек – графический способ.

1. В первом способе сначала пишется символ соответствующей электронной оболочки, а в виде показателя степени изображается число электронов на данной оболочке. Сумма верхних индексов должна равняться порядковому номеру элемента. Недостатком электронных формул является использование только двух квантовых чисел  $n$  и  $l$ .

2. Более полно описывает состояние электронов в атомах метод квантовых ячеек, использующий все четыре квантовых числа. Каждой ячейке отвечает определённая орбиталь, электрон изображается в виде стрелки, а направление стрелки олицетворяет спиновое квантовое число.

s-состоянию отвечает одна орбиталь

p  $m_l = (2l + 1)$  три

d пять

f семь

Заселение квантовых ячеек (орбиталей) подчиняется правилу Гунда (Хунда): на атомных орбиталях электроны стремятся расположиться так, чтобы сохранилось наибольшее число электронов с параллельным спином, т.е. правило Гунда учитывает  $m_l$ .

Такая электронная конфигурация атома будет соответствовать наименьшей энергии.

Согласно правилу Гунда электроны сначала занимают свободные орбитали по одному, образуя конфигурации с максимальным числом неспаренных электронов, только после этого происходит спаривание электронов. Итак, при составлении электронных формул следует исходить из того, что:

1. Порядковый номер элемента указывает на заряд ядра его атома и общее число электронов.

2. Номер периода соответствует количеству энергетических уровней в атоме.

3. Номер группы отвечает числу валентных электронов, т.е. электронов, участвующих в образовании химических связей.

Элементы, у которых застраиваются электронами s-орбитали наружного энергетического уровня, называются s-элементами. К s-семейству относятся элементы главных подгрупп 2 и 1 групп ПСЭ. Р-семейство – элементы главных подгрупп 3 и 8, d-семейство – элементы побочных подгрупп, в атомах которых заполняются d-орбитали предпоследнего энергетического уровня. F-семейство – лантаноиды и актиноиды.

### Контрольные вопросы

1. Двойственная природа электрона. Уравнение де Бройля.
2. Спектры атомов, как источник информации об их строении.
3. Принцип неопределённости Гейзенберга.
4. Квантовые числа.
5. Основные принципы заполнения электронами орбиталей (принцип Паули, принцип наименьшей энергии, правило Хунда).
6. Электронные формулы и электронно-графические схемы строения атомов.

7. Определение валентных возможностей элемента, исходя из строения электронных оболочек атома.

8. Характеристика свойств элемента по его положению в ПСЭ.

### План характеристики элемента

1. Период, группа, семейство, подгруппа.
2. Порядковый номер элемента в ПСЭ. Назвать элемент. Общее число электронов, протонов, нейтронов.
3. Записать электронную формулу и изобразить графически структуру электронных оболочек.
4. Указать валентные электроны, расположение их по ячейкам в нормальном и возбуждённом состояниях. Спинвалентность.
5. Свойства элемента (металл, неметалл, инертный газ, окислитель, восстановитель).
6. Формула высшего оксида, его химическая характеристика.
7. Формула гидроксида, его химическая характеристика.
8. Формула водородного соединения s- и p-элемента.

## ЛИТЕРАТУРА

### Основная

Коровин Н. В. Общая химия: Учебник. 2-е изд., испр. и доп. – М.: Высш. шк., 2000. – 558 с.: ил.

Коровин Н.В., Мингулина Э.И., Рыжова Н.Г. Лабораторные работы по химии: Учеб. пособие для студ. вузов / Под ред. Н.В. Коровина. 3-е изд., испр. – М.: Высш. шк., 2001. – 255 с.: ил.

Павлов Н. Н. Общая и неорганическая химия: Учеб. для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Дрофа, 2002. – 458 с.: ил.

Практикум по общей и неорганической химии: Пособие для студентов вузов / В.И. Фролов, Т.И. Курохтина, З.Н. Дымова и др.; Под ред. Н.Н. Павлова, В.И. Фролова. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Дрофа, 2002. – 304 с.: ил.

### Дополнительная

Ахметов Н.С. Общая и неорганическая химия: Учебник для студентов химико-технологических спец. вузов. 4-е изд., испр. – М.: Высш. шк.; Академия, 2001. – 743 с.: ил.

Глинка Н.Л. Общая химия: Учеб. пособие для вузов. 27-е изд., стереотип. – СПб.: Химия, 1988. – 704 с.

Глинка Н.Л. Задачи и упражнения по общей химии: Учеб. пособие для вузов. 26-е изд., стер. – Л.: Химия, 1988. – 272 с.

Коржуков Н. Г. Неорганическая химия: Учеб. пособие для студентов вузов. – М.: МИСИС, 2001. – 367 с.

Угай Я.А. Общая и неорганическая химия: Учебник для вузов. 2-е изд., испр. – М.: Высш. шк., 2000. – 527 с.

## ОТЧЕТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №2

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЛЯРНОЙ МАССЫ ЭКВИВАЛЕНТА МЕТАЛЛА

Цель работы: Освоение газометрического метода изучения химических процессов на примере определения молярной массы эквивалента металла.

### КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ

Эквивалентом называется: \_\_\_\_\_

Единица размерности \_\_\_\_\_

Фактор эквивалентности \_\_\_\_\_

Молярная масса эквивалента \_\_\_\_\_

и её размерность \_\_\_\_\_

Закон эквивалентов \_\_\_\_\_

и его математическое выражение \_\_\_\_\_

### РАСЧЕТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

Исследуемая реакция в молекулярном виде: \_\_\_\_\_

Уравнение электронного баланса: окисление \_\_\_\_\_

Восстановление \_\_\_\_\_

Фактор эквивалентности \_\_\_\_\_

Эквивалент металла \_\_\_\_\_

Теоретическое значение молярной массы эквивалента металла \_\_\_\_\_

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ

### РАСЧЕТОВ

Измеряемая или расчетная величина	Обозначение	Значение, ед. изм.	Значение
Масса металла	$m$ (Me)		
Температура	$T$		
Исходный уровень воды	$V_1$		
Конечный уровень воды	$V_2$		
Объем газовой смеси	$V = V_2 - V_1$		
Объем водорода (н.у.)	$V_0(H_2)$		
Атмосферное давление	$P$		
Парциальное давление паров воды	$h$		
Молярная масса эквивалента водорода	$M_э(H_2)$		
Эквивалентный объем водорода	$V_э(H_2)$		
Масса водорода	$m(H_2)$		
Экспериментальное значение молярной массы эквивалента металла	$M_э(M_e)$		
Валентность металла	$n$		
Экспериментальное значение молярной массы атомов металла (атомной массы)	$M(M_e)_{экс}$		
Теоретическое значение молярной массы эквивалента металла	$M_э(M_e)_{теор}$		
Относительная ошибка	$a$		

**Вывод:** \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

## СОДЕРЖАНИЕ

*Лабораторная работа № 1*  
**КЛАССЫ НЕОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ** ----- 3  
 1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ----- 3  
     1.1. Классификация неорганических соединений ----- 3  
     1.2. Кислоты и основания (гидроксиды) ----- 5  
 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ ----- 6  
     2.1. Получение кислот ----- 6  
     2.2. Получение оснований ----- 6  
     2.3. Получение солей ----- 7  
 Контрольные вопросы и упражнения ----- 7  
*Лабораторная работа № 2*  
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЛЯРНОЙ МАССЫ**  
**ЭКВИВАЛЕНТА МЕТАЛЛА** ----- 8  
 1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ----- 8  
 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ ----- 12  
 Контрольные вопросы ----- 14  
*Лабораторная работа № 3*  
**СТРОЕНИЕ АТОМА** ----- 15  
 1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ----- 15  
     Современные представления о строении атома ----- 15  
     Двойственная природа электронов ----- 15  
     Принцип неопределенности ----- 16  
     Квантово-механическое описание атома ----- 16  
     Принципы и последовательность заполнения  
     атомных орбиталей в многоэлектронном атоме ----- 20  
     Контрольные вопросы ----- 22  
     План характеристики элемента ----- 23  
**ЛИТЕРАТУРА** ----- 24  
**ПРИЛОЖЕНИЕ** ----- 25

Федеральное агентство по образованию  
Владивостокский государственный университет  
экономики и сервиса

---

**Т.К. МИХАЛЬЧЕНКО**

**ХИМИЯ**  
**Химические процессы в растворах**

*Практикум*  
по общей и неорганической химии

Владивосток  
Издательство ВГУЭС  
2020

Рецензенты: Н.К. Шамина, канд. хим. наук,  
профессор (УГПИ);  
Белоус Л.В., канд. хим. наук,  
доцент (ВГУЭС)

**Михальченко, Т.К.**

М 69 ХИМИЯ: химические процессы в растворах: практикум по общей и неорганической химии / Т.К. Михальченко. – Владивосток: Изд-во ВГУЭС, 2020. – 32 с.

Данный практикум является руководством к лабораторным работам, составлен на основе программы курса химии.

По своему содержанию работа охватывает лишь часть лабораторного практикума: определение концентрации растворов; ионные процессы; гидролиз солей; комплексные соединения; окислительно-восстановительные реакции. Даны краткие теоретические сведения, подробно описаны методика и техника выполнения опытов полумикрометодом, приведены таблицы, к каждой лабораторной работе даны контрольные вопросы и задачи для самоконтроля, список литературы.

Для студентов нехимических специальностей высших учебных заведений.

ББК 24

Печатается по решению РИСО ВГУЭС

© Издательство Владивостокский  
государственный университет  
экономики и сервиса, 2020  
(1-е изд. 2003)

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

### Определение концентрации растворов

*Цель работы:* познакомиться с определением концентрации растворов методом титрования.

*Реактивы:* соляная кислота 0,1н, гидроксид натрия, метилоранж.

*Приборы:* штатив Бунзена, бюретка на 50 мл, пипетка на 25 мл, конические колбы на 100 мл.

#### 1. Теоретическая часть

*Концентрация.* Отношение количества или массы вещества, содержащегося в системе, к объёму или массе этой системы называют концентрацией. Известно несколько способов выражения концентрации.

*Молярная концентрация  $C$*  – отношение количества вещества (в молях), содержащегося в системе (например, в растворе), к объёму  $V$  этой системы. Единицы измерения молярной концентрации моль/м<sup>3</sup> (дольная производная, СИ – моль/л). Например,  $C(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1$  моль/л,  $C(\text{KOH}) = 0,5$  моль/л. Раствор, имеющий концентрацию 1 моль/л, называют молярным раствором и обозначают 1М раствор; соответственно раствор, имеющий концентрацию 0,5 моль/л, обозначают 0,5 М.

*Молярная концентрация эквивалента  $C_{\text{эк}}$*  (нормальная концентрация) – это отношение количества вещества эквивалента (моль) к объёму раствора (л). Единица измерения нормальной концентрации моль/л (дольная производная, СИ). Например,  $C_{\text{эк}}(\text{KOH}) = 1$  моль/л,  $C_{\text{эк}}(\frac{1}{2} \text{H}_2\text{SO}_4) = 1$  моль/л,  $C_{\text{эк}}(\frac{1}{3} \text{AlCl}_3) = 1$  моль/л.

Раствор, в одном литре которого содержится 1 моль эквивалента вещества, называют нормальным и обозначают 1н. Соответственно могут быть 1н, 0,1н, 0,01н и т.п. растворы.

*Моляльность  $b$*  – отношение количества растворённого вещества (в молях) к массе  $m$  растворителя. Единица измерения моляльности моль/кг. Например,  $b(\text{HCl} / \text{H}_2\text{O}) = 2$  моль/кг.

*Молярная доля* – отношение количества вещества данного компонента (в молях), содержащегося в системе, к общему количеству вещества (в молях). Молярная доля может быть выражена в долях единицы, процентах %, промилле (тысячная часть %) и в миллионных долях (млн.<sup>-1</sup>).

*Массовая доля* – отношение массы данного компонента, содержащегося в системе, к общей массе этой системы. Массовая доля может быть выражена в долях единицы, процентах %, промилле и миллионных долях. Массовая доля данного компонента, выраженная в процентах,



$\frac{H_1}{1000} \cdot V_1$  – молярная масса эквивалента вещества рабочего раствора, вступившего в реакцию;

$\frac{H_2}{1000} \cdot V_2$  – молярная масса эквивалента вещества определяемого реагента в эквивалентной точке.

В эквивалентной точке  $\frac{H_1 \cdot V_1}{1000} = \frac{H_2 \cdot V_2}{1000}$ , отсюда  $H_1 \cdot V_1 = H_2 \cdot V_2$ .

Из полученного равенства легко подсчитать концентрацию исследуемого вещества и выразить ее либо через нормальность, либо через титр, либо в других единицах:

$$H_2 = \frac{H_1 \cdot V_1}{V_2}; T = \frac{H_2 \cdot \mathcal{E}}{1000}$$

где  $\mathcal{E}$  – молярная масса эквивалента исследуемого вещества.

## 2. Экспериментальная часть

### 2.1. Определение концентрации раствора щелочи

Определение концентрации раствора щелочи основано на реакции нейтрализации ( $\text{OH}^- + \text{OH}^+ = \text{H}_2\text{O}$ ) и выполняется следующим образом.

Чисто вымытую бюретку установить вертикально в зажиме штатива и ополоснуть небольшим количеством того раствора кислоты, который будет затем наливаться в бюретку.

В бюретку наливают раствор кислоты известной концентрации (нормальности) и устанавливают уровень раствора на нулевом делении, считая по нижнему мениску. При этом обращают внимание на то, чтобы кончик бюретки был заполнен раствором и не содержал пузырьков воздуха.

Чистой пипеткой засасывают немного исследуемого раствора гидроксида натрия и, ополоснув им внутреннюю поверхность пипетки, выливают раствор в раковину. После этого пипеткой отмеривают точный объем раствора щелочи и выливают его в коническую колбу, прибавив к раствору 1–2 капли индикатора метилроута или метилоранжа.

Колбу с отмеренным объемом гидроксида натрия помещают под бюретку и постепенно из бюретки прибавляют раствор кислоты при непрерывном помешивании раствора. Раствор кислоты прибавляют до тех пор, пока от одной последней капли окраска раствора изменится. После этого отмечают уровень раствора кислоты в бюретке.

Затем в бюретку снова доливают раствор кислоты до нулевого уровня. Колбу ополаскивают водой и снова отмеривают в нее пипеткой раствор щелочи и прибавляют индикатор. Титрование повторяют 3–4 раза. Результаты записывают в таблицу. Данные с отклонением более 0,2 мл в расчет не принимаются.

Таблица 2.1

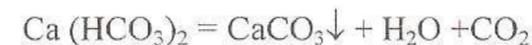
Данные опыта

№ опыта	Объем исследуемого раствора NaOH в мл.	Объем раствора кислоты с известной концентрацией в мл.
---------	--	--

По результатам титрования вычисляют нормальность и титр щелочи.

### 2.2. Жесткость воды

Растворимые в воде соли кальция и магния обуславливают ее жесткость. Различают жесткость временную (карбонатную) и постоянную (некарбонатную). Временная (карбонатная) жесткость зависит от растворенных гидрокарбонатов кальция и магния  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  и  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ . Она устраняется простым кипячением воды, при этом растворимые в ней гидрокарбонаты кальция и магния переходят в карбонаты нерастворимые:



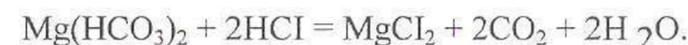
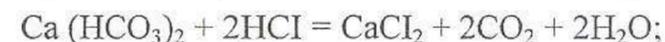
Временная жесткость воды может быть устранена действием реагентов  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  или  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .



Постоянная (некарбонатная) жесткость обусловлена присутствием таких растворимых солей кальция и магния, как сульфаты, хлориды, нитраты и др. Они при нагревании воды не разрушаются. Сумма карбонатной и некарбонатной жесткости дает общую жесткость.

Жесткость воды определяется молярной концентрацией эквивалента ионов кальция и магния в миллимолях на литр (ммоль/л) воды.

В основе определения временной жесткости лежат реакции:



#### 2.2.1. Определение временной жесткости воды

Отберите пипеткой в две конические колбы по 100 мл исследуемой воды. Влейте в каждую по 2–3 капли метилоранжа (в щелочной среде или нейтральной он имеет желтую окраску, в кислой – оранжевую). Од-

на из колб контрольная. Из бюретки по каплям добавляйте в одну колбу 0.01н раствора соляной кислоты до тех пор, пока окраска раствора от прибавления последней капли кислоты станет оранжевой. Наблюдаемый цвет сравните с окраской раствора в контрольной колбе. Титрование повторите. Возьмите средний расход кислоты и рассчитайте временную жесткость по формуле:

$$Ж - воды = \frac{H \cdot V_{HCL} \cdot 1000}{100} = H \cdot V_{HCL} \cdot 10$$

где Н – нормальность раствора соляной кислоты;  
100 мл – объём исследуемой жидкости;  
V – объём 0,01н раствора HCl, израсходованный на титрование;  
Ж – жесткость воды.

### 3. Контрольные вопросы

1. Дайте определение концентрации раствора?
2. Какие вам известны способы выражения концентраций? Дайте определение каждому способу выражения концентрации.
3. Какой объём 0,1н раствора можно приготовить из двух литров 2н раствора КОН?
4. Сколько граммов  $K_2SO_4$  нужно растворить, чтобы получить 200 мл 2н раствора?
5. Для чего при титровании раствора применяют индикаторы?
6. Для нейтрализации 20 мл  $HNO_3$  израсходовано 23,6 мл 0,12н щелочи. Вычислите нормальность кислоты и ее титр.
7. Сколько граммов тиосульфата натрия  $Na_2S_2O_3$  необходимо взять для приготовления 300 г раствора, в котором массовая доля тиосульфата натрия 5%?
8. Сколько граммов гидроксида натрия нужно взять, чтобы приготовить 5 л 0,1 М раствора?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

### Ионные процессы

*Цель работы:* провести ряд ионных реакций, изучить условия их необратимости, условия образования и растворения осадков, сравнить химическую активность электролитов.

*Реактивы:* нитрат свинца, иодид калия, сульфат калия, хлорид бария, хромат калия, карбонат натрия, соляная кислота, гидроксид аммония, хлорид аммония, сульфат бария (насыщенный раствор), серная кислота (концентрированный раствор), хлорид или сульфат меди, гидроксид натрия, фенолфталеин, цинк металлический.

*Оборудование:* пробирки, спиртовки.

### 1. Теоретическая часть

#### 1.1. Ионные процессы

Реакции в растворах электролитов, при которых не происходит изменение зарядов ионов, входящих в соединение, называются обменными реакциями. Например: имеются два электролита  $KA$  и  $K_1A_1$  ( $K$  и  $K_1$  – катионы,  $A$  и  $A_1$  – анионы), между которыми в растворе устанавливается равновесие:



Известно, что равновесие в ионно-обменных реакциях в растворах смещается в сторону образования наименее диссоциированных соединений. Направление реакций ионного обмена между двумя электролитами в растворе определяется возможностью образования между их ионами малорастворимого, малодиссоциированного, а также газообразного соединения.

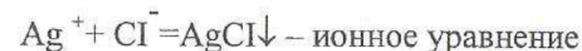
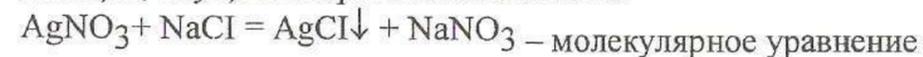
При выводе ионно-молекулярных уравнений необходимо придерживаться следующей формы записи:

а) сильные электролиты следует писать в виде отдельных составляющих их ионов, либо именно в таком состоянии они находятся в растворе;

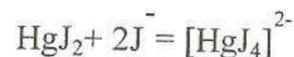
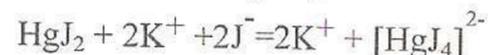
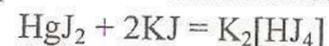
б) слабые электролиты, газы, а также малорастворимые соединения следует условно писать в виде молекул, независимо от того, являются они исходными веществами или продуктами.

Примеры:

*Реакция, идущая с образованием осадка:*

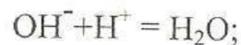
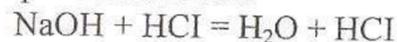


Образование комплексного иона:

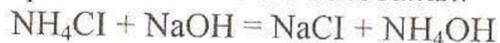


Образование слабых электролитов:

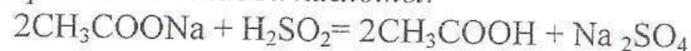
а) образование воды



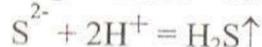
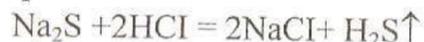
б) Образование слабого основания:



в) Образование слабой кислоты:



г) Образование газов:



## 1.2. Произведение растворимости

Абсолютно нерастворимых веществ нет. В насыщенном растворе малорастворимого электролита, например  $\text{BaSO}_4$ , находящегося в соприкосновении с твердой фазой, непрерывно протекают два противоположных процесса. В состоянии равновесия, когда оба процесса протекают с одинаковой скоростью, образовавшаяся гетерогенная система определяется выражением:



Переход ионов в раствор и обратный процесс внедрения ионов в кристаллическую структуру твердого вещества происходят лишь на его поверхности. В таком случае, на основании закона действия масс, состояние равновесия зависит только от произведения концентрации ионов, которое для данного малорастворимого электролита является величиной постоянной.

Произведение концентрации ионов в насыщенном растворе малорастворимого электролита представляет собой величину постоянную при данной температуре называется произведением растворимости (ПР).

Для сульфата бария эта величина определяется выражением:

$$K = [\text{Ba}^{2+}] \cdot [\text{SO}_4^{2-}] = \text{ПР}_{\text{BaSO}_4}$$

и составляет  $1,1 \cdot 10^{-10}$  при  $25^\circ\text{C}$ . Чем больше величина ПР, тем больше растворимость. Из понятия ПР вытекает условие образования осадков: труднорастворимый электролит выпадает в осадок, когда произведение концентраций его ионов в растворе становится больше величины ПР. Это будет достигнуто прибавлением избытка электролита, содержащего одноименные ионы. Растворение осадка будет происходить тогда, когда произведение концентрации его ионов в растворе станет меньше величины ПР. Этого можно добиться, связывая один из ионов, посылаемых осадком в раствор.

## 2. Экспериментальная часть

### 2.1. Реакции двойного обмена между электролитами в растворе

Проведите следующие реакции. Для этого в микропробирках смешайте по несколько капель нижеперечисленных реактивов:

Нитрат свинца + иодид калия

Нитрат свинца + сульфат калия

Нитрат свинца + хромат калия

Хлорид бария + сульфат калия

Хлорид бария + карбонат натрия

Хлорид бария + хромат калия

Отметьте цвета образующихся осадков. Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения реакций. При составлении уравнений реакций учитывайте растворимость образующихся веществ.

### 2.2. Сравнение химической активности электролитов

Налейте в одну пробирку 1-2 мл разбавленной соляной кислоты 2н, в другую уксусной кислоты такой же концентрации. В обе пробирки поместите кусочки цинка и наблюдайте за интенсивностью реакций.

Напишите уравнения реакций и объясните различную скорость их, исходя из константы диссоциации взятых кислот (Табл. 5.2.)

### 2.3. Влияние одноименного иона на степень диссоциации электролитов

В две пробирки внесите по 10 капель раствора аммиака, для которого характерно состояние равновесия:  $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

### Гидролиз солей

*Цель работы:* изучить гидролиз ряда солей и влияние различных факторов на его протекание.

*Реактивы:* хлорид натрия, сульфат натрия, карбонат натрия, сульфат натрия, гидросульфит натрия, гидрокарбонат натрия, хлорид аммония, сульфат аммония, хлорид висмута, хлорид сурьмы, соляная кислота, фенолфталеин, лакмус, универсальный индикатор, сульфат хрома(III), хлорид цинка (концентрированный раствор), цинк, алюминий.

*Оборудование:* спиртовка, пробирки, конические колбы.

### 1. Теоретическая часть

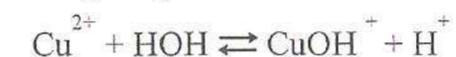
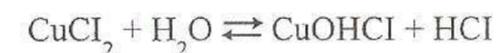
Гидролизом называется любая химическая реакция обменного характера между веществом и водой. Он возможен благодаря диссоциации молекул воды:  $\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{OH}^-$ , в результате которой образовавшиеся ионы  $\text{H}^+$  и  $\text{OH}^-$  взаимодействуют с веществом, смещая равновесие диссоциации воды вправо. Механизм этого взаимодействия заключается в том, что при растворении соли в воде соль диссоциирует на ионы, которые, реагируя с ионами воды,  $\text{H}^+$  и  $\text{OH}^-$ , образуют соединения основного или кислого характера. Связывание ионов  $\text{H}^+$  и  $\text{OH}^-$  в труднорастворимое или слабодиссоциированное соединение приводит к накоплению значительных количеств одного из указанных ионов, а среда из нейтральной переходит в щелочную или кислую.

С точки зрения современных представлений о растворах, гидролиз рассматривают как результат поляризационного взаимодействия ионов соединения с их гидратной оболочкой. Характер и степень распада молекул гидратной оболочки зависит от природы катиона и аниона соли: чем сильнее поляризующее действие иона, тем в большей степени протекает гидролиз.

#### 1.1. Случаи гидролиза

В зависимости от характера соли (поляризующей способности ионов) возможны следующие случаи гидролиза:

**1.1.1. Гидролиз по катиону или гидролиз солей, образованных сильными кислотами и слабыми основаниями**



В обе пробирки добавьте по капле раствора фенолфталеина и отметьте окраску раствора. В одну из пробирок добавьте 3–4 капли раствора хлорида аммония и взболтайте ее содержимое. Изменяется ли интенсивность ее окраски (сравните с окраской раствора во второй пробирке)? Используя закон действия масс, объясните влияние одноименного иона на диссоциацию электролита.

### 2.4. Смещение ионного равновесия при введении одноименного и разноименного ионов

#### 2.4.1. Осаждение электролитов при увеличении концентрации одного из ионов

В пробирку налейте 0,5 – 1 мл насыщенного раствора сульфата бария и прибавьте к нему концентрированный раствор серной кислоты. Обратите внимание на выпадение осадка. Объясните выпадение осадка, исходя из понятия о произведении растворимости.

#### 2.4.2. Растворение осадка электролита при уменьшении концентрации одного из ионов

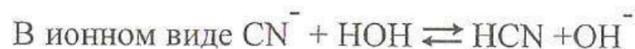
В пробирку налейте 1 мл хлорида (сульфата) меди и прибавьте к нему раствор гидроксида натрия. Образовавшийся осадок растворите в соляной кислоте. Напишите уравнения реакций, объясните происходящий процесс.

### 3. Контрольные вопросы

1. Какие реакции относятся к ионообменным?
2. Сформулируйте правило, определяющее направление реакций ионного обмена.
3. Дайте определение произведению растворимости?
4. Как изменяется растворимость осадка при добавлении одноименного иона?
5. К растворам каждого из веществ:  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CuCl}_2$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ,  $\text{HCl}$  прибавили избыток гидроксида натрия. Напишите молекулярные и ионно-молекулярные уравнения соответствующих реакций.

в результате образования малодиссоциированного иона нарушается ионное равновесие воды, в растворе накапливаются ионы  $H^+$ , среда становится кислой.

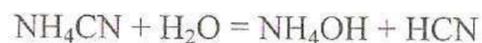
### 1.1.2. Гидролиз по аниону или гидролиз солей, образованных сильными основаниями и слабыми кислотами



т.е. ионы  $CN^-$  связываются с ионами  $H^+$  воды, образуя слабодиссоциированные молекулы  $HCN$ , что ведет к накоплению в растворе  $OH^-$  и среда становится щелочной.

### 1.1.3. Гидролиз по катиону и по аниону или гидролиз солей, образованных слабыми кислотами и слабыми основаниями

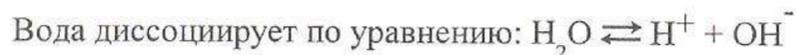
В этом случае равновесие гидролиза смещено вправо сильнее, чем в первом и во втором случаях, так как гидролиз сопровождается образованием слабодиссоциированных кислот и оснований. Характер среды будет зависеть от силы образующихся кислот и оснований, и может быть определен с помощью констант диссоциации полученных продуктов гидролиза. Например, в случае гидролиза  $NH_4CN$ :



$K_d$  гидроксида аммония =  $1.76 \cdot 10^{-5}$ .  $K_d$  синильной кислоты =  $6.2 \cdot 10^{-10}$ . При сопоставлении, приведенных значений констант диссоциаций продуктов гидролиза видно, что  $K_d NH_4OH > K_d HCN$ , из чего можно заключить, что среда имеет слабощелочную реакцию.

Соли, образованные сильными кислотами и сильными основаниями оба иона соли слабополяризуемые, гидролизу не подвергаются. Количественно гидролиз характеризуется степенью гидролиза – это отношение гидролизированных молекул к общему числу молекул соли, находящейся в растворе. Она зависит от природы соли и температуры. С увеличением температуры и разбавления степень гидролиза увеличивается.

## 1.2. Ионное произведение воды



Произведение концентраций ионов водорода и гидроксид-ионов –  $K_{\text{воды}}$  или  $K_w$  называется ионным произведением воды

$$K_w = [H^+] \cdot [OH^-]$$

Так как в воде  $[H^+] = [OH^-] = 10^{-7}$  г-ион/л., то

$$[H^+] \cdot [OH^-] = K_w = 10^{-14}$$

В чистой воде  $[H^+] = 10^{-7}$ . В этом случае среда называется нейтральной, при  $[H^+] < 10^{-7}$  – щелочной, а при  $[H^+] > 10^{-7}$  – кислой. Вместо концентрации ионов водорода часто пользуются водородным показателем (рН) ( $pH = -\lg [H^+]$ ).

В нейтральной среде рН = 7, в щелочной > 7, а в кислой < 7. Для приблизительного определения рН пользуются индикаторами, т.е. веществами, изменяющими свою окраску в зависимости от щелочной или кислой среды. Часто с этой целью используют: лакмус, фенолфталеин, метилоранж, универсальный индикатор, составленный из специально подобранных веществ.

## 2. Экспериментальная часть

### 2.1. Определение рН растворов некоторых веществ

Налейте в отдельные пробирки растворы:

Хлорид натрия 0,5н

Сульфат натрия 0,5н

Нитрат калия 0,5н

Испытайте реакции растворов с помощью кусочка лакмусовой бумаги или универсального индикатора. Содержат ли указанные растворы солей избыток  $H^+$  или  $OH^-$ ? Каков характер солей, с точки зрения поляризующей способности ионов, и каково поведение в растворе подобных солей? Какие равновесия устанавливаются в растворах солей такого типа? Подвергаются ли такие соли гидролизу?

### 2.2. Гидролиз ацетата натрия

Налейте в пробирку 3–4 капли раствора ацетата натрия 0,1н и определите с помощью универсальной индикаторной бумаги рН раствора. В какой цвет окрашивается раствор ацетата натрия после добавления 1–2 капель фенолфталеина? Исходя из концентраций раствора, вычислите его рН и сравните с опытными данными. Заполните следующую таблицу:

Таблица 2.2

Данные опыта

Формула соли	$[OH^-] = \sqrt{K_{\text{гидр}} \cdot C}$ вычисленный	рН	
		вычисленный	по данным опыта

$$K_{\text{гидр}} = \frac{K_w}{K_{\text{кислоты}}} = 5.7 \cdot 10^{-10},$$

где  $C$  – концентрация раствора соли.

$$K - \text{ионное произведение воды} = [H^+] \cdot [OH^-] = 10^{-14}$$

$K_{\text{кислоты}}$  – константа диссоциации кислоты  $CH_3COOH$  (см. таблицу 2.5).

$K_{\text{гидр}}$  – константа гидролиза соли.

Напишите молекулярное и ионное уравнения гидролиза ацетата натрия, укажите, какой это случай гидролиза.

### 2.3. Гидролиз карбоната и сульфита натрия

Налейте в одну пробирку 5–6 капель 0.1 н раствора  $Na_2CO_3$  в другую – такой же объем  $Na_2SO_3$ . Прибавьте в каждую пробирку по 1–2 капли фенолфталеина или универсального индикатора. Сравните поведение обеих солей в растворе и, не производя вычислений, определите в каком из двух растворов относительно больше: 1) степень гидролиза –  $\alpha$ ; 2) концентрация гидроксильных ионов; 3) значение рН. Какой анион  $CO_3^{2-}$  или  $SO_3^{2-}$  проявляет более сильные поляризующие свойства? Вычислите константы гидролиза солей. Заполните таблицу:

Таблица 2.3

Данные опыта

Соль	$[OH^-]$	рН <sub>эксп.</sub>	$K_{\text{гидр}} = \frac{K_w}{K_2}$

где  $K_w$  – ионное произведение воды, равное  $10^{-14}$ ,

$K_2$  – константа диссоциации соответствующих кислот второй ступени (см. табл. 2.5.)

### 2.4. Гидролиз гидрокарбоната $NaHCO_3$ и гидросульфита $NaHSO_3$

К 0,1 н раствору первой соли добавить 1–2 капли фенолфталеина, а к 0,1 н раствору второй соли 1–2 капли лакмуса, предварительно убедившись в том, что в растворе  $NaHSO_3$  фенолфталеин бесцветен. Напишите молекулярно-ионное уравнение гидролиза обеих солей и объясните различие в свойствах их растворов. Какая функция основания или кислоты преобладает у иона  $HCO_3^-$  и иона  $HSO_3^-$ ? Результаты опыта сопоставьте с вычисленными данными, сравнив величины  $K_{\text{гидр}}$  и  $K_2$  кислот. Заполните таблицу 2.4.

Таблица 2.4

Данные опыта

Соль	Опытные данные	Расчетные данные	$K_2$	Вывод
	Реакция раствора	$K_{\text{гидр}} = \frac{K_w}{K_1}$		

где  $K_w = 10^{-14}$ ;

$K_1$  – константа диссоциации первой ступени;

$K_2$  – константа диссоциации кислот второй ступени. (см. табл. 2.5.)

### 2.5. Гидролиз хлорида и сульфата аммония

Определите с помощью универсального индикатора реакцию водного раствора  $NH_4Cl$  и  $(NH_4)_2SO_4$ . Напишите молекулярно-ионные уравнения гидролиза этих солей.

Не определяя рН раствора, напишите молекулярно-ионные уравнения гидролиза солей: хлорида цинка, сульфата цинка, нитрата алюминия. Укажите среду и назовите случай гидролиза.

### 2.6. Влияние разбавления на гидролиз и обратимость гидролиза

К 3–4 каплям раствора хлорида сурьмы или висмута прибавьте такой же объем воды. Что наблюдается при этом? Подкислите раствор несколькими каплями концентрированной соляной кислоты, после чего вновь разбавьте раствор. Что наблюдается? Объясните наблюдаемое явление. Напишите молекулярно-ионное уравнение гидролиза хлорида сурьмы или висмута, учитывая, что при этом образуется малорастворимый хлорид стибила  $SbOCl_3$  или хлорид висмута  $BiOCl_3$ .

### 2.7. Влияние температуры на гидролиз солей

Налейте в пробирку 1–3 мл раствора ацетата натрия и 2–3 капли фенолфталеина. Отметьте цвет раствора. Затем раствор нагрейте и обратите внимание на изменение его цвет. Дайте объяснение. Напишите молекулярно-ионное уравнение гидролиза.

### 2.8. Взаимодействие растворов солей, взаимно усиливающих гидролиз

Налейте в коническую пробирку 5–6 капель раствора хлорида или сульфата хрома (III) и прибавьте по каплям раствор карбоната натрия до образования осадка малорастворимого соединения. Какой реакцией можно доказать, что образовавшийся осадок представляет собой гидроксид хрома (III), а не продукт обменного взаимодействия солей? Почему

при взаимодействии растворов этих солей гидролиз протекает практически необратимо? Каков механизм взаимного усиления гидролиза?

### Растворение металлов в продуктах гидролиза солей

Налейте в пробирку 1–2 мл концентрированного раствора хлорида цинка. Опустите в раствор кусочек цинка и нагрейте. Обратите внимание на растворение цинка. Напишите уравнение реакции и объясните наблюдаемое явление. Аналогичный опыт проведите с раствором карбоната натрия и кусочком алюминия.

Таблица 2.5

### Константы диссоциации некоторых слабых электролитов

Название кислоты	Формула	Константа диссоциации
Азотистая	$\text{HNO}_2$	$5,1 \cdot 10^{-4}$
Сернистая	$\text{H}_2\text{SO}_3$	$K_1 = 1,7 \cdot 10^{-2}; K_2 = 6,2 \cdot 10^{-8}$
Синильная	$\text{HCN}$	$K = 7,2 \cdot 10^{-10}$
Угольная	$\text{H}_2\text{CO}_3$	$K_1 = 4,5 \cdot 10^{-7}; K_2 = 4,8 \cdot 10^{-11}$
Уксусная	$\text{CH}_3\text{COOH}$	$K = 1,8 \cdot 10^{-5}$
Фосфорная	$\text{H}_3\text{PO}_4$	$K_1 = 7,7 \cdot 10^{-3}; K_2 = 6,2 \cdot 10^{-8}; K_3 = 1,3 \cdot 10^{-12}$
Аммиак	$\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$	$K = 1,76 \cdot 10^{-5}$

### 3. Контрольные вопросы

1. Что такое гидролиз солей?
2. Что называется степенью гидролиза? Какова взаимосвязь между степенью гидролиза  $\alpha$  и концентрацией  $C$  раствора?
3. Что такое ионное произведение воды? Каким образом оно было вычислено?
4. Дать определение pH и указать на его связь с ионным произведением воды.
5. Как ионное произведение воды связано с константой электролитической диссоциации?
6. Как влияет концентрация водородных ионов на диссоциацию амфотерных электролитов?
7. Привести пример трех типичных случаев гидролиза солей.
8. Вычислить концентрацию  $[\text{OH}^-]$  при  $\text{pH} = 4,7$ .

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

### Комплексные соединения

*Цель работы:* изучить условия и методы образования комплексных соединений, их устойчивость, различия между двойными и комплексными солями.

*Реактивы:* нитрат висмута, иодид калия, нитрат ртути (II), гидроксид натрия, нитрат серебра, сульфат или хлорид никеля, концентрированный раствор аммиака, сульфат меди, гексацианоферрат(II) калия, хлорид натрия, азотная кислота, дисульфатоферрат(III) калия –  $\text{K} \cdot \text{Fe}(\text{SO}_4)_2$ , роданид аммония, хлорид или нитрат бария, гексацианоферрат(III) калия, тиосульфат натрия ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ).

*Оборудование:* пробирки, спиртовки.

### 1. Теоретическая часть

Отличительной особенностью комплексных соединений является в них наличие структурной группировки, называемой координационной сферой. Она состоит из центрального атома – комплексообразователя и связанных непосредственно с ним, лигандов (аддендов). В качестве комплексообразователя чаще всего встречаются ионы  $d$ -элементов. Например, большое число комплексов известно для  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Ca}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Au}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  и платиновых металлов. Лигандами в комплексных соединениях часто бывают анионы:  $\text{CN}^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{I}^-$ ,  $\text{CNS}^-$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $(\text{S}_2\text{O}_3)^{2-}$ ,  $(\text{CO}_3)^{2-}$ ,  $(\text{SO}_4)^{2-}$  и т.д., полярные молекулы:  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2\text{H}_4$  и другие. Число, показывающее, сколько лигандов, координируется вокруг комплексообразователя, называется координационным числом. Наиболее характерным для комплексов являются координационные числа 2, 4, 6, реже – 8, как правило, это число равно удвоенной степени окисления центрального атома – комплексообразователя. В формулах координационная сфера выделяется квадратными скобками, её заряд равен алгебраической сумме зарядов комплексообразователя и лигандов. Ионы, присоединяющиеся снаружи внутренней сферы, составляют внешнюю сферу комплексного соединения.

Примером комплексного соединения может служить:

$[\text{Pt}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2$  – хлорид тетраамминплатины(II);

где  $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$  – координационная (внутренняя) сфера;

$2\text{Cl}^-$  – внешняя сфера;

$\text{Pt}^{2+}$  – комплексообразователь;

NH<sub>3</sub> – лиганды;

Координационное число – 4.

Заряд комплексного иона равен:  $Pt^{2+} + 4NH_3^0 \rightarrow [Pt(NH_3)_4]^{2+}$

Образование комплексных соединений объясняется тем, что центральный ион (или атом) сильнее взаимодействует с лигандами, чем с другими, имеющимися в комплексе частицами, а поэтому удерживает лиганды около себя, образуя координационную сферу. Это взаимодействие обуславливается в основном тремя факторами: электростатическим притяжением, ионизацией и возникновением донорно-акцепторных связей за счет неподеленных электронных пар лигандов и свободных орбиталей комплексообразователя.

Названия комплексных соединений начинают с аниона, аналогично названиям солей: CrCl<sub>3</sub> – хлорид хрома, CuSO<sub>4</sub> – сульфат меди и т.п., при этом указываются число и название лигандов и степень окисления центрального атома. Молекулы H<sub>2</sub>O и NH<sub>3</sub> обозначаются соответственно «АКВО» и «АММИН».

Например:

[Cr(NH<sub>3</sub>)<sub>6</sub>]Cl<sub>3</sub> – хлорид гексаамминхрома(III);

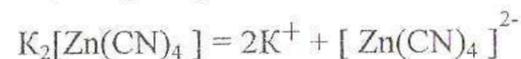
[Cu(NH<sub>3</sub>)<sub>4</sub>]SO<sub>4</sub> – сульфат тетраамминмеди(II);

Если комплексный ион является анионом, то и название соединения начинается с него, но с добавлением суффикса – «ат» к названию комплексообразователя:

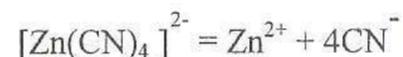
K<sub>4</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>] – гексацианоферрат (II) калия;

Na<sub>2</sub>[Be(OH)<sub>4</sub>] – тетрагидроксобериллат(II) натрия.

В растворах комплексные соединения диссоциируют на комплексный ион и противоположно заряженные ионы внешней сферы (первичная диссоциация). Так, например:



В водных растворах эта диссоциация протекает практически полностью. Однако, кроме такой диссоциации, всегда происходит, хотя и в меньшей степени, распад комплексного иона (вторичная диссоциация), например:



Вторичная диссоциация характеризуется наличием равновесия между комплексной частицей, центральным ионом и лигандами. При этом степень диссоциации зависит от прочности внутренней сферы комплексного соединения.

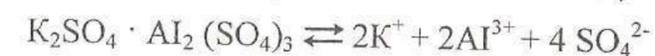
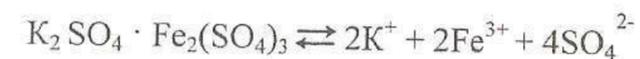
Для характеристики прочности комплекса введено понятие константы нестойкости (K нест.), которая представляет собой константу

равновесия диссоциации комплексного иона. Так, для указанного процесса:

$$K_{\text{нест.}} = \frac{[Zn^{2+}] \cdot [CN^-]^4}{[Zn(CN)_4]^{2-}}$$

Чем меньше величина константы нестойкости, тем прочнее данный комплексный ион.

К комплексным соединениям относятся также и двойные соли, которые представляют собой соединения с малоустойчивой внутренней сферой. Обозначают их иначе, чем комплексные соединения, а именно, как соединения молекул, например:



## 2. Экспериментальная часть

### 2.1. Получение комплексных соединений с комплексным анионом

#### 2.1.1. Получение комплексного соединения висмута – тетраиодовисмутата(III) калия.

В пробирку к 3–4 каплям 0,5н раствором нитрата висмута прибавьте по каплям 0,5н раствор иодида калия до выпадения темно-бурого осадка иодида висмута (BiI<sub>3</sub>). Растворите этот осадок в избытке раствора иодида калия. Зная, что состав полученного соединения выражается эмпирической формулой KJ·BiI<sub>3</sub>, напишите его координационную формулу. Составьте молекулярные и ионные уравнения реакций взаимодействия иодида висмута, взаимодействия иодида висмута с избытком иодида калия. Напишите уравнения электролитической диссоциации полученного соединения.

#### 2.1.2. Получение комплексного соединения ртути – тетраиодомеркурата(II) калия

В две пробирки внесите 2–3 капли раствора нитрата ртути (II). Одну пробирку оставьте в качестве контрольной, в другую добавьте 0,5н раствора иодида калия до полного растворения, образующегося в начале красного осадка иодида ртути (II). Испытайте оба раствора на присутствие ионов Hg<sup>2+</sup>, добавив в каждую пробирку по 2–3 капли 2н раствора едкого натрия.

Из какого раствора выпадает желтый осадок оксида ртути (II). Напишите молекулярное и ионное уравнения реакций его образования.

Почему во второй пробирке при действии NaOH осадок HgO не выпадает? Напишите молекулярные и ионные уравнения проведенных реакций образования иодида ртути (II), взаимодействия  $\text{HgI}_2$  с избытком иодида калия, учитывая, что координационное число иона  $\text{Hg}^{2+}$  равно четырем. Напишите уравнения электролитической диссоциации нитрата ртути (II) и полученной комплексной соли – тетраиодомеркурата (II) калия.

### 2.1.3. Получение комплексного соединения серебра – дитиосульфатоаргентата(I) натрия

В пробирку к 2-3 каплям 0,1н раствора нитрата серебра добавьте избыток 1н раствора тиосульфата натрия  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  до полного растворения выпавшего вначале осадка тиосульфата серебра. Тиосульфат натрия нужно добавлять быстро, т.к. тиосульфат серебра неустойчив. Напишите молекулярные и ионные уравнения реакций образования тиосульфата серебра, взаимодействия тиосульфата серебра с избытком тиосульфата натрия (координационное число серебра равно двум).

### 2.4. Получение комплексных соединений с комплексным катионом. Получение комплексного основания никеля

Получите осадок гидроксида никеля(II), внося в пробирку 3-4 капли 0,5н раствора сульфата или хлорида никеля и такой же объем 2н раствора едкого натрия. Напишите ионное уравнение реакции образования гидроксида никеля (II). К осадку добавьте 5-6 капель 25% раствора аммиака. Что происходит? Сравните окраску ионов  $\text{Ni}^{2+}$  в растворе сульфата никеля с окраской полученного раствора.

Напишите уравнения реакций взаимодействия гидроксида никеля (II) с аммиаком и уравнение электролитической диссоциации образовавшегося комплексного основания (координационное число никеля равно шести).

### 2.5. Получение комплексного соединения меди – сульфата тетрааминмеди (II)

В пробирку к 5-6 каплям 0,5н раствора сульфата меди добавьте 25% раствор аммиака до полного растворения выпадающего в начале осадка основной соли. Отметьте цвет полученного раствора, обусловленный комплексным ионом меди. К этому объему добавьте равный объем этилового спирта. Пронаблюдайте образование осадка сульфата тетрааминмеди (II), который плохо растворим в смеси спирта с водой.

Считая, что координационное число меди равно четырем, написать уравнение реакции взаимодействия сульфата меди с аммиаком и уравнение электролитической диссоциации комплексной соли.

### 2.6. Получение соединения, содержащего в молекуле комплексные катион и анион

В пробирку внесите 2 капли 0,5н раствора  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ - гексацианоферрата(II) калия и 4 капли 0,5н раствора сульфата никеля. К полученному осадку гексацианоферрата(II) никеля добавьте 25% раствор аммиака до полного растворения осадка. Одновременно наблюдайте образование бледно-лиловых кристаллов комплексной соли  $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ .

Напишите уравнения реакций:

- образования гексацианоферрата(II) никеля;
- взаимодействия гексацианоферрата(II) никеля с аммиаком.

### 2.7. Взаимодействие гексацианоферрата (II) калия с сульфатом меди (реакция обмена)

В пробирку к 4-5 каплям 0,5н раствора сульфата меди добавьте такой же объем раствора  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ . Отметьте цвет образовавшегося гексацианоферрата(II) меди. Напишите молекулярное и ионное уравнения реакций.

### 2.8. Разрушение комплексов

В пробирку внесите 4-5 капель 0,1н раствора нитрата серебра и столько же раствора хлорида натрия. Полученный осадок хлорида серебра растворите в 25% растворе аммиака. К полученному раствору комплексной соли серебра добавьте 2н раствор  $\text{HNO}_3$  до образования белого осадка хлорида серебра.

Напишите уравнение реакции взаимодействия хлорида серебра с аммиаком (координационное число серебра равно двум).

Составьте уравнения электролитической диссоциации комплексной соли серебра и ее комплексного иона.

Напишите уравнение реакции разрушения комплекса серебра под действием азотной кислоты.

### 2.9. Различие между двойными и комплексными солями

2.9.1. В три пробирки поместите по 5-6 капель раствора соли  $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  или  $\text{K} \cdot \text{Fe}(\text{SO}_4)_2$  - дисульфатоферрата(III) калия. В одной пробирке попробуйте обнаружить ионы трехвалентного железа действием 0,5н раствора роданида аммония (присутствие ионов  $\text{Fe}^{3+}$  должно показать кроваво-красное окрашивание). Во второй пробирке попробуйте обнаружить ионы  $\text{K}^+$  действием раствора  $\text{Na}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$ , образование желтого осадка укажет на присутствие ионов калия. В третью пробирку добавьте хлорида или нитрата бария, попытайтесь открыть ионы  $\text{SO}_4^{2-}$ , белый осадок свидетельствует об их наличии.

Все ли указанные ионы удастся обнаружить? Сделайте вывод о диссоциации изучаемого вещества. Напишите уравнение его электролитической диссоциации.

2.9.2. Аналогичное исследование проведите с раствором соли гексацианоферрата(III) калия.

В две пробирки внесите по 2–3 капли раствора испытуемой соли. В одной пробирке попробуйте обнаружить ионы калия действием раствора  $\text{Na}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$ , а в другой – ионы  $\text{Fe}^{3+}$  действием раствора роданида аммония. Что при этом наблюдаете? На основании опытов сделайте вывод об электролитической диссоциации данной соли. Напишите уравнения соответствующих реакций. Сопоставьте результаты опытов, укажите, какая из солей является комплексной, а какая двойной.

### 3. Контрольные вопросы

1. Какие соединения называются комплексными?
2. Что называется координационным числом центрального иона и от чего зависит его значение?
3. Какие ионы или молекулы являются лигандами? Приведите примеры.
4. Какие соединения называются внутрикомплексными?
5. Как происходит электролитическая диссоциация комплексного соединения? Покажите на конкретном примере.
6. Что такое координационная связь?
7. Что называется константой нестойкости комплекса? Приведите пример.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

### Окислительно-восстановительные реакции

*Цель работы:* проведение качественных опытов, раскрывающих окислительные и восстановительные свойства отдельных веществ. Освоить методы составления уравнений окислительно-восстановительных процессов.

*Реактивы:* Кристаллические вещества: нитрат калия, дихромат аммония, нитрат меди, иод. Растворы: бромид калия, хлорная вода, иодид калия, сероводородная вода, сульфит натрия, бромная или иодная вода, дихромат калия, хлорид сурьмы, перманганат калия, серная кислота, гидроксид натрия, перекись водорода.

*Оборудование:* пробирки, спиртовка, штатив Бунзена, лучина.

### 1. Теоретическая часть

Окислительно-восстановительными реакциями называются реакции, сопровождающиеся переходом электронов от одних атомов или ионов к другим.

Образование сульфида железа из простых веществ – железа и серы – простейший пример окислительно-восстановительной реакции, в процессе которой атом железа, теряя два электрона, окисляется, превращаясь в положительный двухвалентный ион – *процесс окисления*:  
 $\text{Fe} - 2\bar{e} = \text{Fe}^{2+}$

а атом серы, принимая два электрона, восстанавливается и становится отрицательным двухвалентным ионом – *процесс восстановления*:  
 $\text{S} + 2\bar{e} = \text{S}^{2-}$

Окисление железа произошло за счет серы, к которой переходят его электроны, Восстановление серы произошло за счёт электронов железа. Окислившееся железо выполняло в этой реакции функцию восстановителя, а восстановившаяся сера – функцию окислителя. Таким образом, *окислитель восстанавливается, а восстановитель окисляется.*



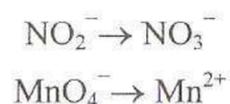
Вычисление коэффициентов в окислительно-восстановительной реакции начинают с установления такого соотношения между числом молекул окислителя и восстановителя, при котором количество электронов, приобретаемых окислителем, равно количеству электронов, теряемых

восстановителем. Для этого предварительно составляют схемы перехода электронов от восстановителя к окислителю.

В настоящее время используют две формы подобного рода схем. В одной из них число электронов, переходящих от восстановителя к окислителю, устанавливается, исходя из изменения состояния окисления атомов или ионов, входящих в их состав. Эта форма может быть использована для окислительно-восстановительных процессов, протекающих как в растворах, так и при высоких температурах (процессы горения, обжига, сплавления и т.д.). Определение состояния окисления отдельных атомов в молекулах окислителей и восстановителей основано на предположении, что все связи в них имеют ионный характер. Такое предположение является условным и весьма далеким от действительной картины химических связей.

Для окислительно-восстановительных реакций, протекающих в водных растворах, предпочтительней пользоваться другими формами схем, в которых функцию окислителя и восстановителя выполняют реальные ионы и молекулы, а не атомы в некотором условном состоянии окисления.

Например:

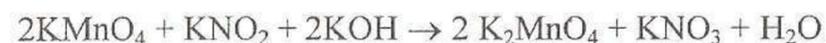


Такие переходы сопряжены в общем случае с участием в них молекул воды или содержащихся в растворе ионов  $\text{H}^+$  и  $\text{OH}^-$ . Отсюда следует, что во взаимодействие с ионами или молекулами окислителя и восстановителя могут вступать или, наоборот, быть продуктами реакции

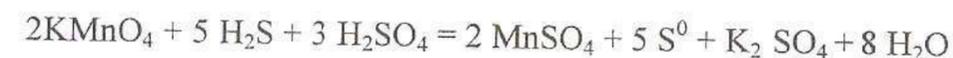
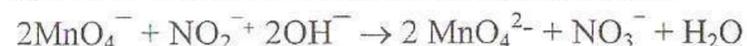
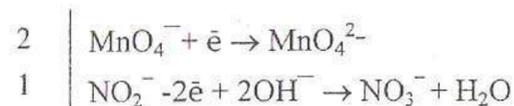
- а) в кислой среде – молекулы воды и ионы  $\text{H}^+$
- б) в щелочной среде – молекулы воды и ионы  $\text{OH}^-$
- в) в нейтральной среде – молекулы воды, ионы  $\text{H}^+$  и  $\text{OH}^-$ .

При выводе молекулярно-ионных уравнений окислительно-восстановительных реакций следует придерживаться той же формы записи, которая принята для уравнений реакций обменного характера, а именно: малорастворимые, малодиссоциированные и летучие соединения следует писать в виде молекул.

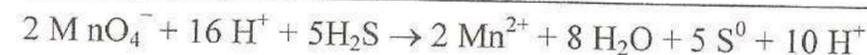
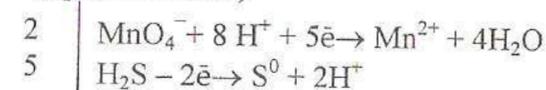
**Примеры:**



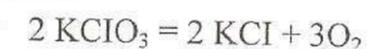
(среда щелочная)



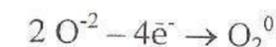
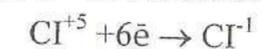
(среда кислая)



В окислительно-восстановительной реакции обязательно участие окислителя и восстановителя, причём, если исходным в реакции является одно вещество, то оно необходимо включает в себя окислитель и восстановитель. Так, в реакции:



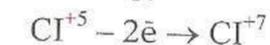
$\text{Cl}^{+5}$  в  $\text{KClO}_3$  окислитель, а  $\text{O}^{-2}$  восстановитель:



Такие реакции относятся к реакциям внутримолекулярного окисления – восстановления.

В реакции же  $4\text{KClO}_3 = 3\text{KClO}_4 + \text{KCl}$

одна часть атома  $\text{Cl}^{+5}$  выполняет функцию восстановителя по схеме:



а другая часть – функцию окислителя, восстанавливаясь при этом по схеме:  $\text{Cl}^{+5} + 6\text{e}^- \rightarrow \text{Cl}^{-1}$

Происходит самоокисление – самовосстановление  $\text{Cl}^{+5}$ . Такие реакции называются реакциями диспропорционирования.

## 2. Экспериментальная часть

### 2.1. Атомы, молекулы простых веществ и элементарные ионы в качестве окислителей и восстановителей

#### 2.1.1. Окисление бромид – иона хлором

К 3–4 каплям раствора бромида калия добавьте 5–7 капель хлорной воды и отметьте изменение окраски раствора. Напишите уравнение реакции. Что в данной реакции является окислителем и что восстановителем?

#### 2.1.2. Окисление йодид – иона избытком хлорной воды

К 3–4 каплям раствора йодида калия добавьте постепенно по каплям при непрерывном помешивании хлорную воду до полного исчезно-

вения, образующегося вначале иода и превращения его затем, в йодноватую кислоту.

Какова функция йода в этой реакции? Напишите уравнение реакции.

### 2.1.3. Окисление $H_2S$ йодом или бромом

К 7–8 каплям насыщенной сероводородной воды добавляйте по каплям йодную или бромную воду до тех пор, пока не прекратится обесцвечивание йода или брома. Если окажется, что последняя капля раствора йода или брома вызвала появление устойчивой окраски, то её следует обесцвечивать 1–2 каплями сероводородной воды. Обратите внимание на выпадение осадка. Какое это вещество? Какой вывод можно сделать об окислительных свойствах йода по отношению к  $H_2S$ ?

## 2.2. Сложные ионы в окислительно-восстановительных процессах

### 2.2.1. Взаимодействие сульфита натрия с бромной водой

В пробирку с 5–6 каплями раствора сульфита натрия прибавьте такой же объём свежеприготовленного раствора бромной воды. Отметьте обесцвечивание раствора. Напишите уравнение реакции. Составьте электронно-ионный баланс, учитывая, что в реакции участвует вода. Какую функцию выполняет ион  $SO_3^{2-}$  в данной реакции.

### 2.2.2. Взаимодействие хлорида сурьмы с дихроматом калия

В пробирку с раствором дихромата калия  $K_2Cr_2O_7$  (1–2 капли) внесите 5–6 капель раствора хлорида сурьмы  $SbCl_3$ . Нагрейте пробирку слабым пламенем горелки. Наблюдайте изменение окраски раствора обусловленного переходом дихромата калия в хлорид трехвалентного хрома, и выпадение осадка сурьмяной кислоты ( $x Sb_2O_5 \cdot y H_2O$ ). Напишите молекулярное и ионное уравнения реакций взаимодействия хлорида сурьмы, дихромата калия и воды, считая, что осадок имеет формулу  $H_3SbO_4$ . Какой сложный ион является окислителем в данной реакции? Составьте электронно-ионный баланс.

## 2.3. Значение среды в окислительно-восстановительных процессах

2.3.1. В три пробирки внесите 3–4 капли раствора перманганата калия  $KMnO_4$ . В одну пробирку добавьте 2–3 капли раствора серной кислоты во вторую столько же воды, в третью – такое же количество гидроксид натрия. Во все три пробирки внесите по несколько кристаллов нитрита калия и перемешайте растворы до полного растворения кристаллов. Через 3–4 минуты отметьте изменение окраски раствора во всех трех случаях. Составьте уравнения реакций.

## 2.4. Окислительно-восстановительная двойственность перекиси водорода

2.4.1. а) К подкисленному раствору перманганата калия добавьте по каплям раствор перекиси водорода до полного обесцвечивания раствора. Обратите внимание на выделение газа и испытайте его заранее приготовленной тлеющей лучинкой. Напишите уравнение реакции и укажите функцию перекиси водорода.

б) К 2–3 каплям раствора иодида калия или натрия прибавьте столько же разбавленной серной кислоты и 3–4 капли раствора перекиси водорода. Какое вещество образовалось? Как его можно обнаружить? Напишите уравнение реакции и укажите функцию перекиси водорода.

2.4.2. а) К подкисленному серной кислотой раствору перманганата калия добавьте до обесцвечивания раствор нитрита натрия. Если прибавить нитрит натрия в некотором избытке, то легко обнаружить слабое побурение и запах оксида азота (IV).

б) К подкисленному серной кислотой раствору иодида калия добавьте несколько капель раствора нитрита натрия. Что происходит при этом? Какова функция нитрита натрия в опытах (а) и (б).

## 2.5. Реакция внутримолекулярного окисления-восстановления

### 2.5.1. Внутримолекулярное окисление-восстановление дихромата аммония

Поместите в сухую пробирку несколько кристаллов дихромата аммония  $(NH_4)_2Cr_2O_7$  нагрейте до начала реакции, после чего прекратите нагревание. Обратите внимание на особенности протекания реакции, ее продукты – газообразные азот, пары воды, твердые – оксид хрома(III) и цвет. Напишите уравнение реакции и укажите в ней окислитель и восстановитель

### 2.5.2. Внутримолекулярное окисление-восстановление нитрата меди

В пробирку поместили несколько кристаллов нитрата меди  $Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$ . Закрепите пробирку в штативе, и осторожно нагревайте маленьким пламенем горелки. Обратите внимание на обезвоживание, изменение цвета соли и выделение газа.

Напишите уравнение реакции разложения нитрата меди, учитывая, что продуктами реакции является оксид меди (II), оксид азота (IV) и кислород. Укажите окислитель и восстановитель в молекуле нитрата меди.

## 2.6. Реакция самоокисления – самовосстановления (диспропорционирования)

2.6.1. Поместите в пробирку 1–2 кристалла йода, 3–5 капель раствора гидроксида натрия или калия и нагрейте. Как меняется цвет раствора? Закончите уравнение реакции, учитывая, что продуктом окисления йода в щелочной среде является йодат натрия или калия.



К охлажденному раствору прибавьте по каплям разбавленного раствора серной (или соляной) кислоты для получения слабокислой среды, то реакция пойдёт в обратном направлении:



Можно ли обратный процесс назвать диспропорционированием?

Закончите уравнение реакции. Для уравнений реакций «а» и «б» составьте электронно-ионные схемы и уравняйте, укажите окислитель и восстановитель, процесс окисления и восстановления.

2.6.2. Осторожно нагрейте в сухой пробирке небольшое количество перманганата калия до разложения. Закончите уравнение реакции:



После остывания полученную соль растворите в воде. Обратите внимание на переход зелёной окраски в фиолетово-красную и появление осадка. Закончите уравнение реакции:



Для уравнений «в» и «г» составьте электронно-ионные схемы и уравняйте, укажите окислитель и восстановитель, процесс окисления и восстановления.

## 3. Контрольные вопросы

1. Какие реакции называются окислительно-восстановительными?
2. Что называется степенью окисления элемента?
3. Какова степень окисления:
  - а) азота в соединениях:  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HNO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}_4$ ,  $\text{NO}_2$ .
  - б) фосфора в соединениях:  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{HPO}_2$ .
  - в) серы в соединениях:  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .
4. Что называется окислением (восстановлением)?
5. Какой степени окисления должен обладать элемент, способный к проявлению двойственной функции, т.е. и окислителя и восстановителя?
6. Какие окислительно-восстановительные реакции относятся к реакциям диспропорционирования (внутримолекулярного окисления-восстановления)?

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

### Основная литература

- Коровин, Н.В. Общая химия: учебник / Н.В. Коровин. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Высш. шк., 2000. – 558 с.: ил.
- Коровин, Н.В. Лабораторные работы по химии: учеб. пособие для студентов вузов / Н.В. Коровин, Э.И. Мингулина, Н.Г. Рыжова; под ред. Н.В. Коровина. – 3-е изд., испр. – М.: Высш. шк., 2001. – 255 с.: ил.
- Лучинский, Г.П. Курс химии: учебник для инженерно-технических (не химических) вузов / Г.П. Лучинский. – М.: Высш. шк., 1985. – 416 с.
- Павлов, Н.В. Общая и неорганическая химия: учебник для вузов / Н.В. Павлов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Дрофа, 2002. – 458 с.: ил.
- Фролов, В.И. Практикум по общей и неорганической химии: пособие для студентов вузов / В.И. Фролов, Т.М. Курохтина, З.Н. Дымова и др.; под ред. Н.Н. Павлова, В.И. Фролова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Дрофа, 2002. – 304 с.: ил.

### Дополнительная литература

- Ахметов, Н.С. Общая и неорганическая химия: учебник для студ. химико-технологических спец. вузов / Н.С. Ахметов. – 4-е изд., испр. – М.: Высш. шк.: Академия, 2001. – 743 с.: ил.
- Ахметов, Н.С. Лабораторные и семинарские занятия по общей и неорганической химии: учеб. пособие / Н.С. Ахметов, М.К. Азизова, Л.И. Бадыгина. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк.: Академия, 1999. – 368 с.: ил.
- Глинка, Н.Л. Общая химия: учеб. пособие для вузов / Н.Л. Глинка; под ред. канд. хим. наук В.А. Рабинович. – 27-е изд., стереотип. – СПб.: Химия, 1988. – 704 с.
- Глинка, Н.Л. Задачи и упражнения по общей химии: учеб. пособие для вузов / Н.Л. Глинка; под ред. В.А. Рабинович, Х.М. Рубинной. – 26-е изд., стер. – Л.: Химия, 1988. – 272 с.
- Коржуков, Н.Г. Неорганическая химия: учеб. пособие для студ. вузов / Н.Г. Коржуков; под ред. Г.М. Курдюмова. – М.: МИСИС, 2001. – 367 с.
- Угай, Я.А. Общая и неорганическая химия: учебник для вузов / Я.А. Угай. – 2-е изд., испр. – М.: Высш. шк., 2000. – 527 с.

Рецензенты: Пластун В.И., канд. хим. наук, доцент, каф. общей и биоорганической химии ВГМУ;  
Михальченко Т.К., канд. хим. наук, доцент, каф. ФХ и ПМ ВГУЭС

**Б 43 ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОТЕКАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ:** лабораторный практикум по неорганической химии / Л.В. Белоус. – Владивосток: Изд-во ВГУЭС, 2020. – 28 с.

Для глубокого изучения химии как науки, обоснованной на эксперименте, необходимо выполнение лабораторных работ. Их тематика определяется программой данного курса химии. Студенты выполняют лабораторные работы, пользуясь соответствующими методическими указаниями.

Методические указания являются руководством для подготовки к лабораторно-практическим занятиям по курсу неорганической химии для студентов нехимических специальностей высших учебных заведений и состоят из двух частей: теоретической и экспериментальной.

Изучение теоретической части позволит студенту освоить данную тему и химически грамотно выполнить эксперимент. В экспериментальной части приводится подробная методика выполнения опытов. Приведенные эталоны решения задач, контрольные вопросы и список рекомендуемой литературы помогут студентам освоить теоретический материал и успешно защитить лабораторную работу.

Для студентов I курса нехимических специальностей.

ББК 24

Печатается по решению РИСО ВГУЭС

© Издательство Владивостокский  
государственный университет  
экономики и сервиса, 2020  
(1-е изд. 2003)

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1. ЭНЕРГЕТИКА ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ, ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОТЫ (ИЗМЕНЕНИЕ ЭНТАЛЬПИИ $\Delta H$ ) РЕАКЦИИ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ, ГИДРАТАЦИИ ИЛИ РАСТВОРЕНИЯ

*Цель:* изучить теоретические основы энергетике химических процессов; приобрести навыки практического определения изменения энтальпии ( $\Delta H$ ) реакции нейтрализации, растворения или гидратации; овладеть термодинамическими расчётами.

### 1. Теоретическая часть

Наука о взаимных превращениях различных видов энергии называется термодинамикой.

Термодинамика устанавливает законы этих превращений, направление самопроизвольного течения различных процессов в данных условиях.

При химических реакциях энергия может выделяться или поглощаться не только в виде тепла (например, при горении магния), но и в виде света, механической работы, электричества. Различные виды энергии эквивалентны, т.е. переходят друг в друга в строго определённых, равноценных соотношениях.

При любом процессе соблюдается закон сохранения энергии, как проявление более общего закона природы – закона сохранения материи. Теплота  $Q$ , поглощаемая системой, идёт на изменение её внутренней энергии  $\Delta U$  и на совершение работы  $W$ :

$$\Delta Q = \Delta U + W \quad (1)$$

Внутренняя энергия системы  $U$  – это общий запас энергии, включающий энергию поступательного и вращательного движения молекул, энергию внутримолекулярных колебаний атомов и атомов групп, энергию движения электронов, внутриядерную энергию, т.е. все виды энергии, кроме потенциальной энергии, обусловленной положением системы в пространстве, и без кинетической энергии системы как целого. Абсолютное значение внутренней энергии измерить нельзя. Мы можем определить только изменения внутренней энергии системы –  $\Delta U$

Символ  $\Delta$  обозначает разность, которая находится путём вычитания из величин, относящихся к конечному состоянию, например продуктам реакций, величины, относящейся к начальному состоянию – реагирующим веществам:  $\Delta U = U_2 - U_1$

При химических реакциях под работой против внешних сил в основном подразумевается работа против внешнего давления

$$W = P (V_2 - V_1) = P\Delta V$$

При изохорном процессе ( $V = \text{const}$ , например, в автоклаве) изменения объёма не происходит и  $W = 0$ . Тогда переходу системы из состояния 1 в состояние 2 отвечает равенство:

$$Q_V = U_2 - U_1 = \Delta U$$

Следовательно, если химическая реакция протекает при постоянном объёме, то выделение или поглощение теплоты  $Q_V$  определяется изменением внутренней энергии системы.

При *изобарном* процессе ( $P = \text{const}$ , т.е. химическая реакция протекает в открытом сосуде):

$$\text{теплота } Q_P = \Delta U - P\Delta V = (U_2 - U_1) - P(V_2 - V_1) = (U_2 + PV_2) - (U_1 + PV_1)$$

Введём обозначение  $U + PV = H$ . Тогда  $Q_P = H_2 - H_1 = \Delta H$ .

Функция  $H$  называется *энтальпией*. Таким образом, в изохорном процессе энергетический эффект равен изменению энтальпии системы

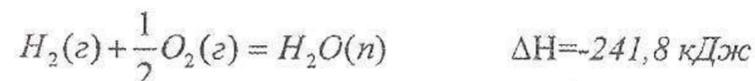
$$Q_P = \Delta H$$

При  $\Delta H > 0$  (теплота подводится к системе из окружающей среды, реакцию называют эндотермической, а при  $\Delta H < 0$  /теплота выделяется в окружающую среду) – экзотермической.

Теплоты химических процессов, протекающих при  $P$ ,  $T = \text{const}$  и  $V$ ,  $T = \text{const}$ , называют тепловыми эффектами.

Раздел химии, в котором изучают тепловые эффекты (изменение энтальпий) процессов, называется термохимией.

Если в уравнении химической реакции указан её тепловой эффект, уравнение называют термохимическим. Например:



При записи термохимических уравнений реакций указывают:

- а) агрегатные состояния или аллотропные модификации веществ;
- б) условия протекания процесса ( $\Delta H_{298}^0$  – стандартный тепловой эффект реакции при 298 К).

Коэффициенты в термохимических уравнениях реакций могут быть дробными. С термохимическими уравнениями можно проводить математические операции сложения, умножения на коэффициент и т.д.

Тепловой эффект реакции зависит от количества реагирующих и получающихся веществ.

*Энтальпией* (теплотой) *образования* называется изменение энтальпии образования одного моля химического соединения из простых веществ, устойчивых при данных условиях.

Энтальпии (теплоты) образования 1 моля сложного вещества из простых при стандартных условиях ( $T = 298,15\text{K}$ ,  $P = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$ , для растворов  $C_i = 1 \text{ моль / дм}^3$ , называются стандартными *энтальпиями* образования и обозначаются  $\Delta H_{298}^0$  и выражаются в кДж/моль.

Энтальпии образования простых веществ в их наиболее устойчивом состоянии при стандартных условиях принимаются равными нулю. Например,  $\Delta H_{298}^0$  образования  $H_2, O_2, Cl_2, Ca, Si = 0$

$$\Delta H_{298}^0 C_{\text{граф}} = 0$$

*Энтальпией* (теплотой) *сгорания* называется изменение энтальпии сгорания 1 моля вещества до  $CO_2, H_2O$  и других высших стабильных оксидов соответствующих элементов. Энтальпия сгорания – важная характеристика органических соединений.

Изменение энтальпии находят с помощью расчётов и экспериментально с помощью калориметров. В простейшем случае калориметр представляет собой сосуд, окружённый оболочкой из плохо проводящего тепло материала. В сосуд помещают вещество с известной теплоёмкостью. Если допустить отсутствие теплообмена между калориметром и окружающей средой, то  $\Delta H = m \cdot C \cdot \Delta T$ , где  $C$  – теплоёмкость калориметрического сосуда и исследуемого вещества;  $\Delta T = T_2 - T_1$  изменение температуры,  $m$  – масса вещества.

## 2. Закон Гесса (1840 г.)

В основе термохимических расчётов лежит закон Гесса и следствия из него.

Тепловой эффект процесса зависит только от начального и конечного состояния вещества и не зависит от пути перехода. Он равен сумме тепловых эффектов всех промежуточных стадий процесса (**Закон Гесса**).

Например:



$$\Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2$$

Из закона Гесса вытекает ряд следствий:

1. Энтальпия образования химического соединения равна энтальпии его разложения, взятой с противоположным знаком:  $\Delta H_{обр}^0 = -\Delta H_{разл}^0$

2. Изменение стандартной энтальпии реакции равно разности между суммой стандартных энтальпий образования продуктов реакции и суммой стандартных энтальпий образования исходных веществ (с учётом стехиометрических коэффициентов (n) в уравнении реакции):

$$\Delta H_{x.p.}^0 = \sum^n \Delta H_{обр.прод.}^0 - \sum^n \Delta H_{обр.исх.в.}^0$$

3. Изменение стандартной энтальпии реакции равно разности между суммой стандартных энтальпий сгорания исходных веществ и суммой стандартных энтальпий сгорания продуктов реакции:

$$\Delta H_{x.p.}^0 = \sum^n \Delta H_{сгор.исх.в.}^0 - \sum^n \Delta H_{сгор.прод.}^0$$

4. Если в результате ряда последовательных химических реакций, система приходит в состояние, полностью совпадающее с исходным, то сумма энергетических эффектов этих реакций равна нулю.

Зная теплоты образования, легко вычислить теплоту сгорания и наоборот.

Пусть требуется определить теплоту образования метанола, зная, что теплота сгорания его равна 729,33 кДж. Составляем уравнение:  $\text{CH}_3\text{OH}(ж) + 3/2\text{O}_2(г) = \text{CO}_2(г) + 2\text{H}_2\text{O}(ж)$ ,  $\Delta H_{x.p.} = -729,3$  кДж

Пользуясь табличными данными, и следствием из закона Гесса, находим:

$$\Delta H_{x.p.}^0 = \sum^n \Delta H_{обр.прод.}^0 - \sum^n \Delta H_{обр.исх.в.}^0$$

$$\Delta H_{x.p.}^0 = \Delta H_{обр.\text{CO}_2}^0 + 2 \cdot \Delta H_{обр.\text{H}_2\text{O}}^0 - \Delta H_{обр.\text{CH}_3\text{OH}}^0 - \frac{3}{2} \Delta H_{обр.\text{O}_2}^0$$

$$\Delta H_{обр.\text{CO}_2}^0 = -393,5 \text{ кДж / моль}$$

$$\Delta H_{обр.\text{H}_2\text{O}}^0 = -286,8 \text{ кДж / моль}$$

$$\Delta H_{обр.\text{O}_2}^0 = 0$$

$$\Delta H_{обр.\text{CH}_3\text{OH}}^0 = \Delta H_{\text{CO}_2}^0 + 2 \cdot \Delta H_{\text{H}_2\text{O}}^0 - \Delta H_{x.p.}^0$$

$$\Delta H_{обр.\text{CH}_3\text{OH}}^0 = -393,5 + 2 \cdot (-286,8) - (-729,3) = -237,8 \text{ кДж / моль}$$

где -237,8 кДж и есть теплота образования 1 моль жидкого метилового спирта при стандартных условиях.

Закон Гесса может быть использован для расчёта энергии связи, энергии гидратации ионов, энергии ионной решётки и т.д.

### 3. Энтропия. Энергия Гиббса. Направление химического процесса

Долгое время считалось, что, согласно принципу Бергго и Томсана, самопроизвольно могут протекать только те химические реакции, которые сопровождаются выделением теплоты ( $\Delta H < 0$ ). При этом, чем больше выделяется теплоты в результате реакции, тем большим химическим средством обладают реагирующие вещества и тем прочнее продукты реакции. В действительности это не совсем так. Например, процессы растворения нитратов аммония или калия и многих других соединений, сопровождающиеся поглощением теплоты ( $\Delta H > 0$ ), протекают самопроизвольно, что противоречит принципу Бергго. Здесь проявляется диалектический закон единства и борьбы противоположностей. С одной стороны, система стремится к упорядочению, (агрегации) и уменьшению  $\Delta H$ , с другой стороны, система стремится к беспорядку (деагрегации). Первая тенденция растёт с понижением температуры, вторая – растёт с повышением температуры. Тенденцию к беспорядку характеризует величина, которую называют энтропией (обозначают S).

Больцман вывел уравнение, согласно которому

$$S = k \ln W, \quad (2)$$

где k – постоянная Больцмана, равная  $R/N_A$ ,

W – вероятность состояния, определяет число микросостояний, соответствующих данному макросостоянию. Это соотношение (2) показывает, что энтропию можно рассматривать как меру молекулярного беспорядка (неупорядоченности) систем.

Энтропия (S) отражает движение частиц вещества. Она возрастает с увеличением движения частиц (при нагревании, плавлении, испарении, расширении газа, при ослаблении и разрыве связей между атомами) и уменьшается в процессах, связанных с упорядоченностью системы (кристаллизация, конденсация, сжатие, упорядочение связей, полимеризация, уменьшение числа частиц). Например, в процессе перехода лёд–вода–пар энтропия возрастает, и наоборот. При T=0 система полностью упорядочена, W=1, энтропия такой системы равна нулю.

Энтропия является функцией состояния, т.е. её изменение ( $\Delta S$ ) зависит только от начального ( $S_1$ ) и конечного ( $S_2$ ) состояния и не зависит от пути процесса.  $\Delta S = S_2 - S_1$ .

Направление протекания любого естественного процесса определяет 2-е начало (второй закон) термодинамики.

Согласно 2-му началу термодинамики теплота не может самопроизвольно переходить от холодного тела к горячему. Перенос теплоты от

холодного тела к горячему обязательно связан с затратой работы, которая переходит к нагретому телу. Так, в домашнем холодильнике охлаждение продуктов ниже комнатной температуры связано с работой. Холодильник работает, лишь когда он включён в сеть и потребляет энергию электрического тока, переходящую затем в окружающую среду в виде теплоты.

Если тело, имеющее температуру  $T_1$  отдаёт  $Q$  теплоты телу с температурой  $T_2$ , то общий запас энергии в этих телах не меняется. Однако разность  $\frac{\Delta Q}{T}$  в итоге самопроизвольного переноса теплоты возрастает, т.е.

$$\frac{\Delta Q}{T} = \frac{\Delta Q}{T_2} - \frac{\Delta Q}{T_1} > 0$$

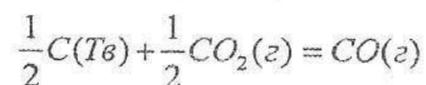
Величина  $\frac{\Delta Q}{T}$  обратимого процесса равна изменению ( $\Delta S$ ) функции, называемой энтропией

$$\text{В необратимых превращениях } \Delta S > \frac{\Delta Q}{T}$$

Энтропия имеет размерность Дж/мольК. Значения энтропии при стандартных условиях (стандартные энтропии  $S_{298}^0$ ) приведены в справочных таблицах.  $S^0$  простых веществ не равны нулю.  $\Delta S_{x.p.}$  можно вычислить по формуле:

$$\Delta S_{x.p.}^0 = \sum n S_{\text{прод}}^0 - \sum n S_{\text{исх.в-в}}^0$$

Судить об изменении  $S$  можно по изменению объёма. Например:



$$\Delta V > 0, \Delta S > 0.$$

Смысл 2 начала термодинамики заключается в утверждении, что во всех естественных процессах в изолированных системах энтропия растёт ( $\Delta S > 0$ ), а в обратимом процессе  $\Delta S = 0$ .

В закрытых системах, если реакция протекает в изобарно-изотермических условиях и обратима,  $\Delta S = \frac{Q_p}{T}$ , тогда  $Q_p - T \cdot \Delta S = 0$  или  $\Delta H - T \cdot \Delta S = 0$ .

Для необратимых реакций  $\Delta S > \frac{Q_p}{T}$ , тогда  $\Delta H - T \cdot \Delta S < 0$

Функция  $(H - T \cdot S)$  называется энергией Гиббса или изобарно-изотермическим потенциалом и обозначается  $G$ :

$G = H - T \cdot S$  размерность кДж/моль.

Получаем, что в обратимой реакции  $\Delta G = 0$  (критерий равновесия), а для необратимой  $\Delta G < 0$  (критерий самопроизвольного протекания реакции в прямом направлении). Иными словами, при  $\Delta G < 0$  процесс принципиально осуществим, при  $\Delta G > 0$  — процесс самопроизвольно проходить не может. Чем меньше  $\Delta G$ , тем сильнее стремление к протеканию данного процесса и тем дальше он от равновесия, при котором  $\Delta G = 0$  и  $\Delta H = T \Delta S$ , а  $T = \Delta H / \Delta S$  называется температурой начала реакции.

$\Delta G$  зависит от природы вещества, его количества и от температуры. Обычно сравнивают  $\Delta G$  при стандартных условиях ( $\Delta G_{298}^0$ ). Для простых веществ  $\Delta G_{298}^0 = 0$ . Энергия Гиббса является функцией состояния, поэтому

$$\Delta G_{x.p.}^0 = \sum n \Delta G_{\text{прод}}^0 - \sum n \Delta G_{\text{исх.в-в}}^0$$

Стандартное изменение энергии Гиббса связано с константой равновесия уравнением:

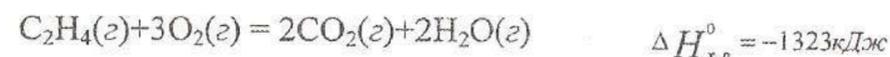
$$\Delta G^0 = -RT \ln K$$

$$\Delta G^0 = -2,3RTLgK$$

## 4. Примеры решения задач

### Задача 1

Определите  $\Delta H_{298}^0$  образования этилена, используя следующие данные:



### Решение

Из таблицы стандартных энтальпий находим:

$$\Delta H_{\text{обр.}CO_2(z)}^0 = -393,5 \text{ кДж/моль}$$

$$\Delta H_{\text{обр.}H_2O(z)}^0 = -241,8 \text{ кДж/моль}$$

Из закона Гесса

$$\Delta H_{x.p.}^0 = \sum n \Delta H_{\text{прод}}^0 - \sum m \Delta H_{\text{исх.в-в}}^0$$

где  $n$  и  $m$  — число моль конечных и начальных веществ, т.е.

$$\Delta H_{x.p.}^0 = 2 \cdot \Delta H_{H_2O}^0 + 2 \cdot \Delta H_{\text{обр.}CO_2}^0 - \Delta H_{\text{обр.}C_2H_4}^0$$

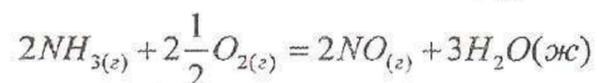
откуда

$$\Delta H_{обр.C_2H_4}^0 = 2 \cdot \Delta H_{H_2O}^0 + 2 \cdot \Delta H_{обр.CO_2}^0 - \Delta H_{x.p.}^0$$

$$\Delta H_{обр.C_2H_4}^0 = 2 \cdot (-241,8) + 2 \cdot (-393,5) - (-1323) = +52,4 \text{ кДж / моль}$$

### Задача 2

По данным справочных таблиц вычислите  $\Delta G_{298}^0$  реакции



и определите возможность протекания её в стандартных условиях.

Решение

$$\Delta G_{x.p.}^0 = 2 \cdot \Delta G_{NO}^0 + 3 \cdot \Delta G_{H_2O}^0 - 2 \Delta G_{NH_3}^0$$

Используя табличные данные значений  $\Delta G_{298}^0$

$$\Delta G_{298, NH_3}^0 = -16,64 \text{ кДж / моль}$$

$$\Delta G_{298, NO}^0 = +86,69 \text{ кДж / моль}$$

$$\Delta G_{298, H_2O(ж)}^0 = -273,5 \text{ кДж / моль}$$

$\Delta G^0$  простых веществ равна 0, т.е.  $\Delta G_{298, O_2}^0 = 0$ , находим:

$$\Delta G_{x.p.}^0 = 2 \cdot 86,69 + 3 \cdot (-273,5) - 2 \cdot (-16,64) = -505,84 \text{ кДж}$$

Следовательно, в стандартных условиях данная реакция возможна:

$$\Delta G_{x.p.}^0 = -505,84 < 0$$

### Задача 3

Вычислить  $\Delta G^0$  процесса  $CaO + H_2O(ж) = Ca(OH)_2(к)$

При 25°C, исходя из значений  $\Delta H^0$  и  $\Delta S^0$  реагирующих веществ.

Решение

	CaO	H <sub>2</sub> O(ж)	Ca(OH) <sub>2</sub>
$\Delta H_{обр}^0 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$	-635,1	-285,84	-986,2
$S^0 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$	39,7	69,96	83,4

Определяем  $\Delta H_{x.p.}^0$  реакции:

$$\Delta H_{x.p.}^0 = \Delta H_{Ca(OH)_2}^0 - \Delta H_{CaO}^0 - \Delta H_{H_2O}^0 \quad \Delta H_{x.p.}^0 = -65,3 \text{ кДж}$$

Определяем изменение энтропии реакции:

$$\Delta S_{x.p.}^0 = \Delta S_{Ca(OH)_2}^0 - \Delta S_{CaO}^0 - \Delta S_{H_2O}^0 \quad \Delta S_{x.p.}^0 = -26,26 \text{ Дж / К} \cdot \text{моль}$$

Используя уравнение Гиббса – Гельмгольца, находим изменение энергии Гиббса, переводя  $\Delta S^0$  в кДж.  $\Delta G^0 = \Delta H - T \Delta S$ ;

$$\Delta G_{x.p.}^0 = -65,3 - (-26,26 \cdot 10^{-3} \cdot 298) = -57,4 \text{ кДж}$$

$\Delta G^0 < 0$ , следовательно, данная реакция термодинамически возможна (протекает самопроизвольно).

## 5. Экспериментальная часть

В сухой калориметрический сосуд налейте 25 см<sup>3</sup> 2М раствора гидроксида натрия или калия, точно отмеренного бюреткой или пипеткой. Закройте сосуд пробкой, не касаясь термометром дна сосуда. Измерьте температуру раствора с точностью до 0,1 С<sup>0</sup> ( $t_{нач}^0$ ).

Быстро, но осторожно, в калориметрический сосуд влейте 25 см<sup>3</sup> 2М раствора соляной кислоты и, перемешивая раствор, наблюдайте за повышением температуры. Отметьте максимальную температуру раствора с точностью до 0,1 С<sup>0</sup> ( $t_{max}^0$ ).

Запись результатов:

Начальная температура  $t_{нач}^0$  С

Максимальная температура  $t_{max}^0$  С

Объём щёлочи  $V_{щ}$

Объём кислоты  $V_{к}$

Концентрация щёлочи  $C_{мщ}$

Концентрация кислоты  $C_{мк}$

Вычисления

1. Определите изменение энтальпии реакции нейтрализации 25 см<sup>3</sup> 2М раствора щёлочи соляной кислотой, приняв плотность всех растворов равной единице, а теплоёмкость равной теплоёмкости воды, т.е. 4,184 Дж/моль град.

$$\Delta H_1 = (m_{щ} + m_{к}) \cdot \Delta t^0 \cdot 4,184 \text{ Дж}$$

$$\Delta t = \Delta t_{max}^0 - \Delta t_{нач}^0$$

где  $m_{щ}$  и  $m_{к}$  – соответственно масса щёлочи и масса кислоты (в г), равные их объемам (в см<sup>3</sup>), т.к. плотность растворов мы приняли равной 1 г/см<sup>3</sup>, ( $m = \rho \cdot V$ ).

2. Вычислите изменение энтальпии  $\Delta H_2$  реакции нейтрализации 1 моль кислоты в кДж/моль, учитывая, что  $25 \text{ см}^3$  2М раствора содержат

$$n = \frac{25 \cdot 2}{1000} \text{ моль кислоты} \quad \Delta H_2 = \frac{\Delta H_1}{n \cdot 1000} \text{ кДж/моль}$$

3. Составьте уравнение реакции нейтрализации и вычислите теоретическое значение изменения энтальпии  $\Delta H$  реакции нейтрализации. Энтальпии образования воды, NaOH HCl и NaCl в растворённом состоянии соответственно равны (в кДж/моль): -285,84; -469,45; -167,36; -406,27. Напишите термохимическое уравнение реакции.

4. Вычислите относительную погрешность опыта:

$$\% \text{ош} = \frac{\Delta H_{\text{теор}} - \Delta H_2}{H_{\text{теор}}} \cdot 100\%$$

## 6. Определение теплоты гидратации соли

При растворении кристаллических солей в воде происходят два основных процесса: первый – эндотермический, связанный с разрушением кристаллической решетки; второй – экзотермический, обусловленный взаимодействием частиц растворяемого вещества с молекулами растворителя и образованием гидратированных частиц (ионов, молекул). В зависимости от того, какой из двух тепловых процессов преобладает, тепловой эффект растворения может быть положительным или отрицательным.

Для определения теплоты гидратации любой соли необходимо знать теплоту растворения безводной соли ( $\Delta H_1$ ) и теплоту растворения кристаллогидрата этой же соли ( $\Delta H_2$ ).

Согласно закону Гесса:  $\Delta H_{\text{гидр.}} = \Delta H_1 + \Delta H_2$

## 7. Определение теплоты растворения сульфата меди (безводный)

Опыт по определению теплоты растворения производится в калориметре. В предварительно взвешенный калориметрический стакан ( $m_{\text{ст}}$ ) налить 100 мл дистиллированной воды ( $m_{\text{в}}$ ). Отвесить 2,25 г безводного сульфата меди с точностью до 0,01г ( $m_{\text{с}}$ ). Отметить с точностью до 0,1<sup>0</sup> температуру воды в калориметре –  $t_1$ , затем при перемешивании внести соль через воронку в воду и отметить максимальную температуру –  $t_2$ .

Результаты измерений разместите в виде столбца;

$m_{\text{ст}}$	– г
$m_{\text{в}}$	– г
$m_{\text{соли}}$	– г
$t_1$	– <sup>0</sup> С
$t_2$	– <sup>0</sup> С

Рассчитайте количество теплоты, выделившейся в калориметре по формуле:

$$q = [C_1 \cdot m_{\text{ст}} + C_2(m_{\text{в}} + m_{\text{с}})] \Delta t,$$

где  $q$  – количество выделившейся теплоты (Дж);

$m_{\text{в}}$  – масса воды (г);

$m_{\text{с}}$  – масса соли (г);

$m_{\text{ст}}$  – масса калориметрического стакана (г);

$C_1$  – удельная теплоемкость стекла (0,753 Дж/г.град);

$C_2$  – удельная теплоемкость раствора (4,184 Дж/г.град);

$\Delta t$  – разность температур ( $t_2 - t_1$ ).

Рассчитайте тепловой эффект  $\Delta H$  по формуле:

$$\Delta H_1 = \frac{qM}{m_{\text{с}} 1000},$$

где  $M$  – молярная масса безводной соли,

## 8. Определение теплоты растворения кристаллогидрата сульфата меди $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

Опыт по определению теплоты растворения производится в калориметре. В предварительно взвешенный калориметрический стакан налить 100 мл дистиллированной воды ( $m_{\text{в}}$ ). Отвесить 2,5г кристаллогидрата сульфата меди  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  ( $m_{\text{с}}$ ). Отметить с точностью до 0,1<sup>0</sup> температуру воды в калориметре  $t_1$ , затем при перемешивании внести соль через воронку в воду и отметить максимальную температуру –  $t_2$  Результаты измерений разместить в таблице в виде столбца:

$m_{\text{в}}$	– г
$m_{\text{с}}$	– г
$m_{\text{ст}}$	– г
$t_1$	– <sup>0</sup> С
$t_2$	– <sup>0</sup> С

Рассчитайте количество теплоты, выделившейся в калориметре по формуле

$$q = [C_1 \cdot m_{\text{ст}} + C_2(m_{\text{в}} + m_{\text{с}})]$$

Рассчитайте теплоту растворения кристаллогидрата по формуле

$$\Delta H_2 = \frac{qM}{m_c 1000},$$

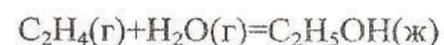
где  $M$  – молярная масса кристаллогидрата  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ .

Взяв значение теплоты растворения  $\Delta H_1$  и  $\Delta H_2$ , определите теплоту гидратации сульфата меди по формуле  $\Delta H = \Delta H_2 - \Delta H_1$

### 9. Вопросы для подготовки. Упражнения и задачи по теме

1. Почему при образовании моль воды и водяного пара выделяется разное количество тепла?

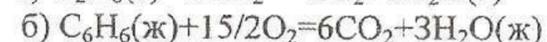
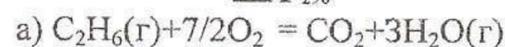
2. Вычислить  $\Delta H_{298}^0$  для реакции:



если  $\Delta H_{\text{C}_2\text{H}_4}^0 = 52,3 \text{ кДж/моль}$        $\Delta H_{\text{H}_2\text{O}(\text{г})}^0 = -241,4 \text{ кДж/моль}$

$\Delta H_{\text{H}_2\text{O}(\text{ж})}^0 = -285,8 \text{ кДж/моль}$        $\Delta H_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{ж})}^0 = -277,6 \text{ кДж/моль}$

3. Вычислить  $\Delta H_{298}^0$  реакций:



если  $\Delta H_{\text{обр. CO}_2}^0 = -393,51 \text{ кДж/моль}$        $\Delta H_{\text{обр. H}_2\text{O}(\text{г})}^0 = -241,4 \text{ кДж/моль}$

$\Delta H_{\text{обр. C}_2\text{H}_6(\text{ж})}^0 = -84,67 \text{ кДж/моль}$        $\Delta H_{\text{H}_2\text{O}(\text{ж})}^0 = -285,83 \text{ кДж/моль}$

$\Delta H_{\text{обр. C}_6\text{H}_6(\text{ж})}^0 = 49,03 \text{ кДж/моль}$

4. Вычислить изменение стандартной энтропии  $\Delta S_{298}^0$  для реакций:

$\text{CO} + 1/2\text{O}_2(\text{г}) = \text{CO}_2(\text{г})$ , используя из табличных данных значения энтропии образования отдельных соединений.

5. Вычислить  $\Delta G_{298}^0$  реакции:  $\text{COCl}_2 = \text{CO} + \text{Cl}_2$  /пользуясь значениями  $\Delta G^0$  образования отдельных соединений/. Определите возможность её осуществления в стандартных условиях.

6. Вычислить  $\Delta G^0$  для реакции  $\text{CaCO}_3(\text{к}) = \text{CaO}(\text{к}) + \text{CO}_2(\text{г})$  при  $25^0$ ,  $500^0$ ,  $1500^0$  С (Зависимостью  $\Delta H^0$  и  $\Delta S^0$  от температуры можно пренебречь). Укажите, при каких температурах реакция может протекать самопроизвольно.

### Контрольные вопросы

1. Что называется системой? Какими параметрами характеризуется система?
2. Внутренняя энергия системы.
3. Понятие об изохорных и изобарных процессах.
4. Что называется энтропией?
5. Энтальпия образования соединений.
6. Стандартные энтальпии сгорания и образования веществ.
7. Закон Гесса и его следствия, их применение в термохимических расчетах.
8. Определение теплот (энтальпий) нейтрализации, растворения, гидратации.
9. Энтропия. Уравнение Больцмана. Как изменяется энтропия с изменением температуры.
10. Энергия Гиббса. Критерий самопроизвольного протекания процесса.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2. СКОРОСТЬ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ, ХИМИЧЕСКОЕ РАВНОВЕСИЕ

Цель: научиться определять:

- зависимость скорости химической реакции от природы реагирующих веществ, температуры, присутствия катализаторов;
- влияние различных факторов на химическое равновесие.

### 1. Теоретическая часть

Химическая кинетика – это учение о скорости и механизме химических реакций и их зависимости от различных факторов.

Скоростью химической реакции называют число элементарных актов взаимодействия, происходящих в единицу времени в единице объема (для гомогенных реакций). Ее можно определить числом молекул (моль) вещества, реагирующих в единицу времени в объеме:

$$V = \frac{\Delta n}{V \cdot \Delta \tau},$$

где  $\frac{\Delta n}{\Delta V} = C$  – изменение концентрации вещества (моль/дм<sup>3</sup>)

$$\text{Тогда } V = -\frac{\Delta C}{\Delta \tau}$$

Следовательно, скорость гомогенной реакции измеряется изменением концентрации реагирующих веществ в единицу времени:

$$V = -\frac{\Delta C}{\Delta \tau} = -\frac{C_2 - C_1}{\tau_2 - \tau_1},$$

где  $V$  – средняя скорость химической реакции;

$C_1$  – концентрация в момент времени  $\tau_1$ ;

$C_2$  – концентрация в момент времени  $\tau_2$ ;

Знак «-» показывает, что концентрация исходных веществ в ходе реакции убывает.

Истинная скорость в данный момент равна первой производной от концентрации по времени:

$$V = -\frac{dc}{d\tau}$$

В гомогенной системе скорость химической реакции зависит от природы реагирующих веществ, их концентрации, температуры, наличия катализаторов, присутствия примесей и природы растворителей.

В гетерогенной системе взаимодействие происходит на поверхности раздела реагирующих веществ, поэтому при прочих равных условиях увеличение поверхности раздела, диффузии реагента к зоне взаимодействия и удаление продукта повышают скорость химической реакции.

Зависимость скорости реакции от концентрации определяется законом действующих масс:

Скорость химической реакции при постоянной температуре прямо пропорциональна произведению концентраций реагирующих веществ, взятых в степенях, равных стехиометрическим коэффициентам в уравнении реакции.

Например, для реакции  $2\text{NO} + \text{O}_2 = 2\text{NO}_2$  закон действия масс имеет вид:

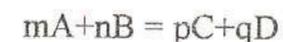
$$v = k \cdot C_{\text{NO}}^2 \cdot C_{\text{O}_2},$$

где  $v$  – скорость химической реакции,

$k$  – константа скорости,

$C_{\text{NO}}$  и  $C_{\text{O}_2}$  – концентрации реагирующих веществ.

Для реакции, записанной в общем виде:



закон действующих масс выражается следующим кинетическим уравнением:

$$v = k C_{\text{A}}^m \cdot C_{\text{B}}^n$$

где  $C_{\text{A}}$ ,  $C_{\text{B}}$  – молярные концентрации веществ А и В в данный момент времени,

$m$ ,  $n$  – стехиометрические коэффициенты в уравнении реакции,

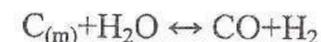
$k$  – коэффициент пропорциональности или константа скорости химической реакции.

При  $C_{\text{A}} = C_{\text{B}} = 1$  моль/дм<sup>3</sup> получается, что  $v = k$ . Следовательно, константа скорости равна скорости химической реакции при концентрациях реагирующих веществ, равных единице. Константа скорости зависит от природы реагирующих веществ, от температуры.

Увеличение давления в газовых системах равносильно увеличению концентрации, поэтому в уравнении скорости реакции вместо концентрации можно взять парциальное давление газа. Например, для реакции:  $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \leftrightarrow 2\text{NH}_3$  скорость реакции определяется выражением:

$$v = k P_{\text{N}_2} P_{\text{H}_2}^3$$

В гетерогенных реакциях концентрации твердых веществ обычно не изменяются в ходе реакции и потому не включаются в уравнение закона действия масс. Так, скорость реакции:



зависит только от концентрации водяного пара:

$$v = k \cdot C_{H_2O}$$

и от площади поверхности твердого угля, т.е. степени его измельчения.

Зависимость скорости химической реакции от температуры приближенно может быть выражена правилом Вант-Гоффа (1884 г.):

«При повышении температуры на каждые  $10^0$  скорость гомогенной реакции увеличивается в 2–4 раза, т.е.

$$\frac{v_{T_2}}{v_{T_1}} = j^{\frac{T_2 - T_1}{10}}; v_{T_2} = v_{T_1} j^{\frac{T_2 - T_1}{10}}$$

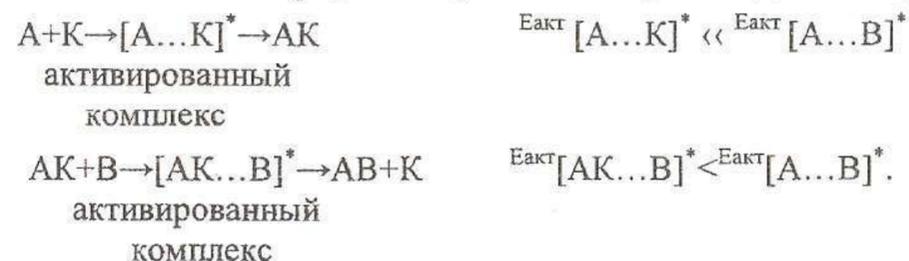
где  $j$  – температурный коэффициент скорости реакции, равный примерно 2–4; он показывает, во сколько раз увеличивается скорость данной реакции при повышении температуры на  $10^0$ .

Большое влияние на скорость реакции оказывают катализаторы – вещества, способные изменить скорость химической реакции за счет взаимодействия с исходными веществами, но в конце реакции остающиеся неизменными. Вещества, ускоряющие химический процесс, называются положительными катализаторами, замедляющие – отрицательными (ингибиторами).

Действие катализаторов специфично и обусловлено природой катализатора, его физическими свойствами и даже способом предварительной обработки.

Все каталитические процессы делятся на два типа: гомогенный и гетерогенный катализ. При гомогенном катализе катализатор и реагирующие вещества составляют одну фазу (газовую или жидкую). При гетерогенном катализе катализатор образует самостоятельную фазу и взаимодействие протекает на поверхности раздела фаз.

Действие катализатора объясняется тем, что при его участии возникают нестойкие промежуточные активированные комплексы, распад которых приводит к образованию продуктов реакции и катализатора  $/K/$ . при этом понижается величина энергии активации, т.е. уменьшается разность между средней энергией активных молекул  $/активного комплекса/$  и средней энергией молекул исходных веществ.



Катализатор на исходную энергию веществ А, В и АВ не влияет.

Даже небольшое уменьшение энергии активации приводит к значительному возрастанию скорости реакций. Так, под действием биологических катализаторов – ферментов – энергия активации химических реакций в живых организмах резко снижается, и эти реакции достаточно быстро протекают при сравнительно низких температурах.

Общие закономерности каталитических реакций: катализатор

– обладает специфичным, избирательным действием (например, ускоряя одну реакцию, катализатор часто совершенно не эффективен для другой);

– катализирует только энергетически возможные реакции, для которых

$$\Delta G^0 < 0$$

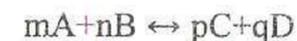
– ускоряет как прямую, так и обратную реакцию в одинаковое число раз (т.е. не влияет на направление состояния равновесия, лишь ускоряет его достижение);

– не расходуется в реакции, изменяет число и характер элементарных стадий.

## 2. Химическое равновесие

Все химические реакции можно разделить на необратимые, направление которых не зависит от внешних условий, и обратимые, направления которых может изменяться в зависимости от температуры, концентрации, давления. Обратимыми называют реакции, которые в рассматриваемых условиях могут протекать как в прямом ( $\rightarrow$ ), так и в обратном ( $\leftarrow$ ) направлениях.

Рассмотрим обратимую реакцию в общем виде:



Применив закон действующих масс к прямой и обратной реакциям, получим:  $v_1 = k_1 \cdot C_A^m \cdot C_B^n$   $v_2 = k_2 \cdot C_C^p \cdot C_D^q$  где  $v_1$  и  $v_2$  – скорости прямой и обратной реакций.

По мере протекания реакции концентрация исходных веществ уменьшается и скорость прямой реакции  $v_1$  убывает, а скорость обратной реакции  $v_2$  возрастает вследствие увеличения концентрации полученных веществ. Наконец, наступает момент, когда скорость обратного процесса становится равной скорости прямого, то есть  $v_1 = v_2$ .

Состояние системы, при котором скорость прямой реакции равна скорости обратной, называется химическим равновесием, а концентрации всех четырех веществ – равновесными концентрациями.

Из равенства  $v_1 = v_2$  вытекает

$k_1[A]^m \cdot [B]^n = k_2[C]^p \cdot [D]^q$  [ ] означают равновесные концентрации.

$$\text{Отсюда } \frac{k_1}{k_2} = K_p = \frac{[C]^p \cdot [D]^q}{[A]^m \cdot [B]^n}$$

$k_1$  и  $k_2$  для данной реакции при данной температуре являются величинами постоянными, и их отношение  $\frac{k_1}{k_2} = K_p$  – величина постоянная,

называется константой равновесия. Следовательно,  $K$  показывает, во сколько раз скорость прямой реакции больше скорости обратной. Это значит, если величина меньше единицы, то обратная реакция идет с большей скоростью. Таким образом, по числовым значениям  $K$  можно судить о направлении реакции. Если константа равновесия  $K$  очень велика ( $K \gg 1$ ), это значит, что прямая реакция идет почти до конца, в то время как обратная почти не идет. В этом случае равновесие сдвинуто вправо. При очень малом значении  $K$  идет преимущественно обратная реакция, равновесие сдвинуто влево. Если величина  $K$  близка к единице, то реакция практически обратима. Константа равновесия зависит от температуры и природы реагирующих веществ и не зависит от исходной концентрации реагента и присутствия катализатора. Катализатор, ускоряя и прямую, и обратную реакцию, способствует скорейшему установлению равновесия, но не оказывает влияния на состояние равновесия.

Соотношение  $K = \frac{[C]^p \cdot [D]^q}{[A]^m \cdot [B]^n}$  является выражением закона действия

масс для обратимых реакций: отношение произведения равновесных концентраций полученных веществ в степенях их стехиометрических коэффициентов к произведению равновесных концентраций исходных веществ также в степенях их стехиометрических коэффициентов есть величина постоянная при данной температуре.

Химическое равновесие характеризуется постоянством энергии Гиббса системы. Равенство  $\Delta G = 0$  является термодинамическим условием химического равновесия. Константа равновесия связана со стандартной энергией Гиббса  $\Delta G_T^\circ$  данной реакции соотношением:

$$\Delta G_T^\circ = -RT \ln K,$$

где  $R$  – универсальная газовая постоянная (8,31 Дж/моль\*К)

$T$  – абсолютная температура, К

$K$  – константа равновесия.

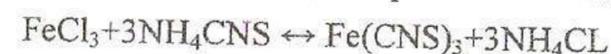
Химическое равновесие остается неизменным, пока остаются постоянными параметры, при которых оно установилось. При изменении условий равновесие нарушается. Смещение (сдвиг) равновесия в зависимости от изменения концентрации реагирующих веществ, температуры, давления в общем виде определяется принципом Ле-Шателье:

Если в системе, находящейся в равновесии, изменить одно из условий ( $P$ ,  $T$ ,  $C$ ), то происходит смещение равновесия в направлении той реакции, которая противодействует произведенному изменению.

Равновесие смещается в ту или иную сторону потому, что изменение условий по-разному влияет на скорость прямой и обратной реакций. Равновесие смещается в сторону той реакции, скорость которой при нарушении равновесия становится больше.

*Согласно принципу Ле-Шателье:*

1. Увеличение концентрации одного из исходных веществ смещает равновесие в сторону протекания прямой реакции (т.к. при этом скорость прямой реакции станет больше скорости обратной), увеличение же концентрации продуктов реакции – в сторону обратной реакции. Например, при увеличении концентрации  $\text{FeCl}_3$  и  $\text{NH}_4\text{CNS}$  равновесие в системе



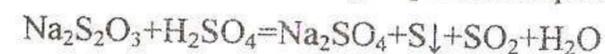
смещается вправо, а при увеличении концентрации  $\text{NH}_4\text{Cl}$  – влево.

2. При увеличении давления равновесие смещается в сторону образования меньшего числа молей газа, т.к. они занимают меньший объем.

3. Повышение температуры смещает равновесие в сторону эндотермической реакции, понижение – в сторону экзотермической реакции.

### 3. Экспериментальная часть

Зависимость скорости химических реакций от концентрации и температуры в гомогенной системе можно показать на примере взаимодействия растворов серной кислоты с тиосульфатом натрия:



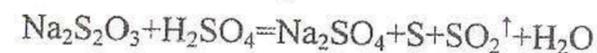
Выделяющаяся сера создает мутность раствора.

Началом реакции считается момент смешения растворов, условным концом реакции – выделение одного и того же количества серы, то есть одинаковая степень помутнения раствора.

Время, необходимое для выделения данного количества серы, обратно пропорционально средней скорости процесса.

**Опыт 1.** Зависимость скорости реакции от концентрации реагирующих веществ.

Для изучения зависимости скорости реакции от концентрации реагирующих веществ воспользуемся реакцией:



Налейте в пробирку 5–10 капель  $\text{In}$  раствора  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  и 3–5 капель 2н раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Наблюдайте появление опалесценции и дальнейшее помутнение раствора.

Приготовьте четыре раствора  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  различной концентрации. Для этого в сухие пробирки внесите:

- в I—4 капли In раствора  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  и 12 капель воды;
- во II—8 капель In раствора  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  и 8 капель воды;
- в III—12 капель In раствора  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  и 4 капли воды;
- в IV—16 капель In раствора  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

Таким образом, если условно обозначить молярную концентрацию раствора  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  в I пробирке через С моль/л, то во 2-й пробирке концентрация этого же раствора будет 2С, в 3-й — 3С, в 4-й — 4С. в первую пробирку добавьте 1 каплю 2н раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . При этом заметьте по секундомеру время. Отметьте время протекания реакции до появления заметной опалесценции. Аналогично проведите опыты со 2-й, 3-й и 4-й пробирками. Данные опыта запишите в виде таблицы:

Таблица 2.1.1

Данные опыта

№ пробирки	Концентрация раствора в моль/л	Через сколько секунд появилась муть

Постройте график зависимости скорости химической реакции от концентрации раствора.

**Опыт 2.** Зависимость скорости реакции от температуры.

Для опыта возьмите две пробирки. В первую налейте приблизительно 10 капель In раствора  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ , а во вторую — приблизительно 1 каплю разбавленного раствора серной кислоты. Отметив температуру воздуха в лаборатории, слейте растворы вместе, заметьте по секундомеру время. Отметьте, через сколько секунд появилась муть.

Аналогичный опыт проделайте при температуре на  $10^\circ\text{C}$  выше предыдущей. Для этого поместите пробирки с раствором в химический стакан с водой, температура которого на  $10^\circ\text{C}$  выше комнатной. Выдержите там пробирки с раствором несколько минут (5–7), чтобы температура последних достигла температуры воды в стакане. После этого растворы слейте вместе и, заметив время, оставьте эту пробирку в стакане с водой до первых признаков появления мути. Отметьте, через сколько секунд появилась муть.

Аналогичные опыты проделайте не менее трех раз, всякий раз повышая температуру опыта на  $10^\circ\text{C}$ . результаты опыта запишите в таблицу, приведенную ниже. Строго придерживаться указанной разницы в температуре необязательно.

Таблица 2.2.1

Данные опыта

№ опыта	Температура во время опыта, в $^\circ\text{C}$	Время появления мути в секундах

Влияние температуры на скорость реакции выразите графически, отложив по оси абсцисс температуру, а по оси ординат — время в секундах. Сделайте вывод о влиянии температуры на скорость реакции, имея в виду, что скорость — величина, обратно пропорциональная времени.

**Опыт 3.** Зависимость скорости химической реакции от величины поверхности раздела фаз в гетерогенной системе.

Возьмите два небольших, приблизительно одинаковых кусочка мела. Один из них разотрите пестиком в ступке в порошок и пересыпьте в пробирку, второй кусочек целиком поместите в другую пробирку. В обе пробирки добавьте по 10 капель соляной кислоты, ( $\rho=1,19\text{г/см}^3$ ). Напишите уравнение реакции.

Отметьте, в какой пробирке скорость реакции выше. Сделайте вывод о влиянии величины поверхности соприкосновения реагирующих веществ на скорость химической реакции.

**Опыт 4.** Химическое равновесие и его смещение. Влияние изменения концентрации на смещение равновесия.

В четыре пробирки внесите по 5 капель разбавленных растворов  $\text{FeCl}_3$  и  $\text{NH}_4\text{CNS}$ . Легким встряхиванием пробирок размешайте растворы и поставьте пробирки в штатив. В растворе имеет место обратимая реакция:



Раствор  $\text{Fe}(\text{CNS})_3$  имеет красную окраску. По изменению интенсивности окраски можно судить об изменении концентрации  $\text{Fe}(\text{CNS})_3$ , т.е. о смещении равновесия в ту или другую сторону.

В одну из пробирок добавьте 2–3 капли концентрированного раствора  $\text{NH}_4\text{CNS}$ , в другую 2–3 капли концентрированного раствора  $\text{FeCl}_3$ , в третью — несколько кристаллов  $\text{NH}_4\text{Cl}$ . Четвертую пробирку с раствором сохраните для сравнения. Растворы во всех пробирках размешайте энергичным встряхиванием и отметьте изменение интенсивности окраски в каждом случае, сравнив с раствором в контрольной пробирке.

Результаты представьте в виде таблицы:

№ пробирки	Что добавлено	Изменение интенсивности окраски	Направление смещения равновесия
1			
2			
3			

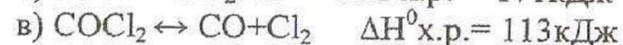
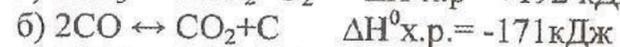
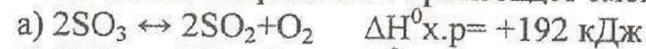
Напишите выражение константы равновесия данного обратимого процесса. Сделайте вывод: в каком направлении смещается равновесие при увеличении концентрации исходных веществ? продуктов реакции? Сопласуются ли полученные результаты с принципом Ле-Шателье?

### Вопросы и задачи для самоконтроля

- Средняя и мгновенная скорость реакции.
- Факторы, влияющие на скорость химических реакций /в гомогенных и гетерогенных системах/.
- Зависимость скорости реакции от концентрации. Закон действующих масс.
- Константа скорости.
- Зависимость скорости реакции от температуры.
- Энергия активации.
- Энергия активации каталитических реакций и сущность действия катализатора.
- Обратимые и необратимые химические реакции.
- Константа равновесия и ее расчет по стандартным изменениям энергии Гиббса.
- Химическое равновесие. Закон химического равновесия /действующих масс/.
- Определение смещения равновесия при изменении условий на основании принципа Ле-Шателье.
- Как изменится скорость прямой реакции:  $2\text{NO} + \text{O}_2 \leftrightarrow 2\text{NO}_2$   
а/при увеличении концентрации NO в три раза?  
б/при одновременном уменьшении концентрации NO и  $\text{NO}_2$  в 2 раза?
- Как изменится скорость реакции при повышении температуры от  $30^\circ$  до  $80^\circ\text{C}$ , если температурный коэффициент  $j=3$ ?
- Чему равен температурный коэффициент скорости реакции, если при увеличении температуры на  $30^\circ$  скорость реакции возрастает в 15,6 раза?
- При некоторой температуре равновесные концентрации в системе  $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \leftrightarrow 2\text{SO}_3$  составляли соответственно  $[\text{SO}_2]=0,04$  моль/л,

$[\text{O}_2]=0,6$  моль/л,  $[\text{SO}_3]=0,02$  моль/л. вычислите константу равновесия и исходные концентрации оксида серы /IV/ и кислорода.

16. В каком направлении произойдет смещение равновесия систем:



1 – при повышении температуры?

2 – при повышении давления?

3 – при понижении концентрации  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}$ ?

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

### Основная литература

Коровин Н.В. Общая химия: Учебник. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Высш. шк., 2000. – 558 с.: ил.

Коровин Н.В. Лабораторные работы по химии: Учеб. пособие для студ. вузов / Н.В. Коровин, Э.И. Мингулина, Н.Г. Рыжова; Под ред. Н.В. Коровина. – 3-е изд., испр. – М.: Высш. шк., 2001. – 255 с.: ил.

Лучинский Г.П. Курс химии: Учебник для инженерно-технических (нехимических) вузов. М.: Высш. шк., 1985. – 416 с.

Павлов Н.Н. Общая и неорганическая химия: Учеб. для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Дрофа, 2002. – 458 с.: ил.

Фролов В.И., Курохтина Т.М., Дымова З.Н. и др. Практикум по общей и неорганической химии: Пособие для студентов вузов / Под ред. Н.Н. Павлова, В.И. Фролова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Дрофа, 2002. – 304 с.: ил.

### Дополнительная литература

Ахметов Н.С. Общая и неорганическая химия: Учебник для студ. химико-технологических спец. вузов / Н.С. Ахметов. – 4-е изд., испр. – М.: Высш. шк.: Академия, 2001. – 743 с.: ил.

Ахметов Н.С. и др. Лабораторные и семинарские занятия по общей и неорганической химии: Учебное пособие / М.К. Азизова, Н.С. Ахметов, Л.И. Бадыгина. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк.: Академия, 1999. – 368 с.: ил.

Коржуков Н.Г. Неорганическая химия: Учебное пособие для студ. вузов / Под ред. Г.М. Курдюмова. – М.: МИСИС, 2001. – 367 с.

Угай Я.А. Общая и неорганическая химия: Учебник для вузов. – 2-е изд., испр. – М.: Высш. шк., 2000. – 527 с.

Глинка Н.Л. Общая химия: Учебное пособие для вузов / Под ред. канд. хим. наук В.А. Рабинович. – 27-е изд., стереотип. – СПб.: Химия, 1988. – 704 с.

Глинка Н.Л. Задачи и упражнения по общей химии: Учебное пособие для вузов / Под ред. В.А. Рабинович, Х.М. Рубиной. – 26-е изд., стер. – Л.: Химия, 1988. – 272 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1. Энергетика химических реакций, определение теплоты (изменение энтальпии $\Delta H$ ) реакции нейтрализации, гидратации или растворения .....	3
1. Теоретическая часть .....	3
2. Закон Гесса .....	5
3. Энтропия. Энергия Гиббса. Направление химического процесса... 7	
4. Примеры решения задач.....	9
5. Экспериментальная часть.....	11
6. Определение теплоты гидратации соли.....	12
7. Определение теплоты растворения сульфата меди (безводный)....	12
8. Определение теплоты растворения кристаллогидрата сульфата меди $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ .....	13
9. Вопросы для подготовки. Упражнения и задачи по теме .....	14
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2. Скорость химических реакций, химическое равновесие .....	16
1. Теоретическая часть .....	16
2. Химическое равновесие .....	19
3. Экспериментальная часть.....	21
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....	26

Федеральное агентство по образованию

Владивостокский государственный университет  
экономики и сервиса

---

# **ОБЩИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ**

Лабораторный практикум

Владивосток  
Издательство ВГУЭС  
2020

Лабораторный практикум по курсу химии «Общие свойства металлов и электрохимические процессы» составлен в соответствии с требованиями ГОС ВПО РФ.

Предназначен студентам I курса инженерно-технических и инженерно-экономических специальностей 230101, 201500, 201700, 071900, 060800.

Составитель: Т.К. Михальченко, канд. хим. наук, доцент каф. ЭПП.

Утверждена на заседании кафедры ЭПП.

Рекомендована к изданию УМК ИИБС ВГУЭС.

© Издательство Владивостокский  
государственный университет  
экономики и сервиса, 2020  
(1-е изд. 2003)

*Посвящается  
Валентине Ильиничне Шевченко,  
канд. хим. наук, доценту*

## ВВЕДЕНИЕ

Предлагаемый практикум по общей химии составлен на основе программ для студентов инженерно-технических (нехимических) специальностей высших учебных заведений.

По своему содержанию охватывает лишь часть лабораторного практикума объемом 10 часов и предназначается главным образом для студентов I курса инженерно-технических специальностей. Он посвящен в основном общим свойствам металлов, их поведению в растворах кислот, солей и оснований, а также некоторым вопросам электрохимических процессов: гальваническим элементам, электролизу и отдельным случаям электрохимической коррозии металлов.

К каждой лабораторной работе даются краткие теоретические сведения, описание опытов и контрольные вопросы.

Теоретическая часть должна фиксировать внимание студентов на том учебном материале, который имеет непосредственное отношение к изучаемой теме, и обеспечивает обязательный минимум сведений для осознанного выполнения лабораторной работы.

## Лабораторная работа ОБЩИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ.

Цель работы: изучить химические свойства металлов.

### 1. Реактивы и оборудование

1.1. Приборы: пробирки, спиртовки, держатели.

1.2. Кристаллические вещества: алюминий, цинк, свинец, железо, медь, олово.

1.3. Растворы: сульфат цинка 0,5н, хлорид алюминия 0,5н, сульфат меди 0,5н, хлорид железа (II) 0,5н, нитрат ртути 0,5н, нитрат серебра 0,5н, серная кислота концентрированная, соляная кислота концентрированная, азотная кислота концентрированная, серная кислота 2н, соляная кислота 2н, азотная кислота 2н, гидроксид натрия концентрированный.

### 2. Теоретическая часть

Основным химическим свойством металлов является способность их атомов отдавать свои валентные электроны и переходить в положительно заряженные ионы. Атомы типичных металлов никогда не принимают электроны, т.е. в окислительно-восстановительных реакциях выполняют только восстановительную функцию:

$Me - n\bar{e} \rightarrow Me^{n+}$  (процесс окисления, сам металл – восстановитель).

Восстановительная способность у атомов различных металлов проявляется далеко не в одинаковой степени. Количественно она характеризуется величиной ионизационного потенциала (или энергией ионизации), т.е. энергией, необходимой для отрыва от атома одного первого валентного электрона. Чем меньше этот потенциал, тем сильнее выражены металлические свойства элемента.

Химическое поведение металлов в растворах электролитов может быть охарактеризовано положением того или иного металла в ряду напряжений.

Характер взаимодействия металлов с кислотами определяется как местоположением металла в ряду напряжений, так и концентрацией кислоты. В частности, при взаимодействии металла с азотной кислотой продуктами восстановления могут быть  $N_2O_2^{+4}$ ,  $N_2O_3^{+3}$ ,  $N_2O^{+2}$ ,  $N_2O^{+1}$ ,  $N_2^0$ ,  $NH_3^{-3}$ . Степень окисления азота в продуктах зависит от активности металла и от разбавления кислоты. Чем активнее металл и чем раз-

бавленнее кислота, тем степень окисления азота будет меньше. В случае с серной кислотой продуктами восстановления могут быть водород (разбавленная кислота),  $SO_2^{+4}$ ,  $S^0$ ,  $H_2S^{-2}$  (концентрированная кислота). Чем активнее металл, тем степень окисления серы будет меньше.

### 3. Экспериментальная часть

#### 3.1. Ряд напряжений

Установите сравнительную активность некоторых металлов на основании ряда реакций вытеснения металлов из их солей другими металлами. Результаты наблюдений занесите в табл. 1, ставя знак + там, где реакция имеет место, и минус – где процесс не идет.

Таблица 1

Результаты наблюдений за действием металлов на растворы солей

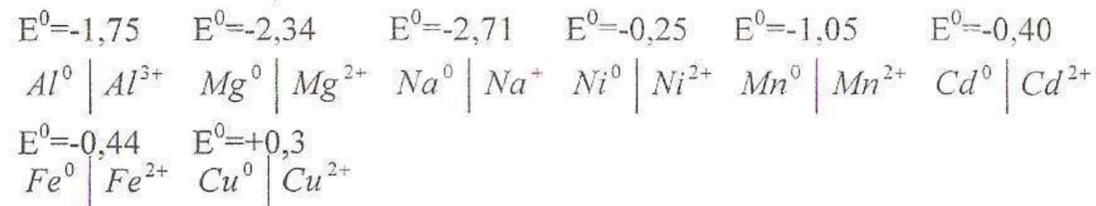
Металл	Ионы					
	$Zn^{2+}$	$Al^{3+}$ $NH_3$	$Cu^{2+}$ $Cl_2$	$Fe^{2+}$	$Hg^{2+}$	$Aq^+$
1 Al <sup>0</sup>	+	—	+			
3 Zn <sup>0</sup>	—	—	+			
Pb <sup>0</sup>						
Fe <sup>0</sup>						
2 Cu <sup>0</sup>	—	—	—			

На основании данной таблицы по количеству знаков + составьте из предложенных металлов ряд активности (напряжений) металлов и сравните ваш ряд активности с рядом напряжений в учебнике. Напишите по одному уравнению реакции для каждого металла (на выбор) в молекулярном и ионном виде. Составьте электронные схемы процессов окисления-восстановления.

Для закрепления материала по данной теме выполните нижеследующие задания.

Какие из указанных ниже реакций возможны? Написать уравнения в молекулярном и ионном виде. Рассчитать ЭДС этих реакций, используя нижеприведенные значения электродных потенциалов. В каком случае идет процесс активнее?

- 3.1.1.  $AlCl_3 + Mg \rightarrow$   
 3.1.2.  $Na_2SO_4 + Al \rightarrow$   
 3.1.3.  $NiSO_4 + Fe \rightarrow$   
 3.1.4.  $CdCl_2 + Cu \rightarrow$   
 3.1.5.  $Al(NO_3)_3 + Cd \rightarrow$   
 3.1.6.  $MnSO_4 + Al \rightarrow$



### 3.2. Действие кислот на металлы

Возьмите следующие металлы:  $Al, Zn, Fe, Cu, Sn$  и с каждым из них проведите реакции взаимодействия с разбавленными и концентрированными кислотами:  $H_2SO_4, HNO_3, HCl$ .

Для этого в пробирку с 1–2 мл. кислоты осторожно опускают металл. Там, где реакция не идет или идет медленно, пробирку осторожно нагрейте. Что наблюдаете?

Результаты опытов занесите в табл. 2, отметив в соответствующей клетке характерные продукты восстановления. Там, где реакция не идет, поставьте в клетке минус.

Таблица.3.2

Результаты опытов по взаимодействию металлов с кислотами

Металл	$H_2SO_4$		$HNO_3$		$HCl$	
	Конц.	Разб.	Конц.	Разб.	Конц.	Разб.
Zn	+	+	+	+	+	+
Fe						
Cu	+	-	+	+	+	+
Al						
Sn	+	-	+	+	+	+

Составьте ионно-электронные схемы проделанных реакций:

- 3.2.1.  $Zn + H_2SO_4$  (конц)  $\rightarrow$   
 3.2.2.  $Fe + H_2SO_4$  (разб)  $\rightarrow$   
 3.2.3.  $Al + HNO_3$  (разб)  $\rightarrow$   
 3.2.4.  $Cu + HNO_3$  (конц)  $\rightarrow$   
 3.2.5.  $Zn + HCl$  (конц)  $\rightarrow$   
 3.2.6.  $Al + HCl$  (разб)  $\rightarrow$   
 3.2.7.  $Sn + HNO_3$  (разб)  $\rightarrow$   
 3.2.8.  $Sn + HNO_3$  (конц)  $\rightarrow$

### 3.3. Действие щелочей на металлы

Возьмите следующие металлы:  $Al, Fe, Zn, Sn, Pb, Cu$  и с каждым из них проделайте реакцию с концентрированным раствором щелочи (едкий натр). Для этого в пробирку с 1–2 мл. щелочи осторожно опустите металл. Если реакция не идет, то слегка подогрейте. Установите, какие из предложенных металлов взаимодействуют со щелочами. Напишите уравнения реакций.

### 4. Контрольные вопросы

4.1. Охарактеризовать основные соединения металлов: оксиды, сульфиды, нитриды, гидроксиды, галиды.

4.2. Каковы взаимодействия металлов с кислотами и щелочами?

4.3. Что такое ионизационный потенциал? Что он характеризует? Как изменяются ионизационные потенциалы по группам и периодам? Какие элементы в периодической системе обладают низкими значениями ионизационных потенциалов?

4.4. Что такое ряд напряжений металлов? Его происхождение и выводы из него.

## Лабораторная работа ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Цель работы: ознакомиться с работой гальванических элементов, их устройством, измерением Э.Д.С., овладеть навыком расчета Э.Д.С. гальванического элемента.

### 1. Реактивы и оборудование

1.1. Приборы: детали для сборки гальванического элемента, микро-стаканчики, подставка для прибора, электролитный мостик, медная пластинка, цинковая пластина, никелевая пластинка, алюминиевая пластинка.

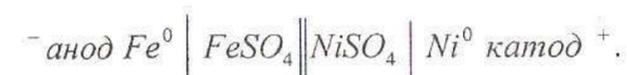
1.2. Реактивы: сульфат цинка 0,5М, 1М, 2М, сульфат меди 0,01М, 0,1М, 1М, сульфат никеля 1М, сульфат алюминия 1М, серная кислота 1М, агар-агар, насыщенный раствор КСl в смеси с агар-агаром.

### 2. Теоретическая часть

Гальванические элементы – это прежде всего преобразователи химической энергии в электрическую. В них за счет окислительно-восстановительных реакций вырабатывается электрический ток. В простейшем случае гальванический элемент состоит из двух гальванических полуэлементов, соединенных в единую систему. Гальваническим полуэлементом называется система, состоящая из металла, погруженного в раствор своей соли. В гальваническом элементе различают внешнюю и внутреннюю цепи. Внешняя цепь – это проволока, соединяющая пластины металлов, по которой движутся электроны от минуса к плюсу. Внутренняя – это растворы электролитов, разделенные между собой пористой перегородкой или электролитным мостиком, который препятствует перемешиванию растворов, но пропускает ионы и молекулы растворителя. Иногда связь между электролитами осуществляется с помощью электролитного мостика. Необходимым условием работы любого гальванического элемента является наличие разности потенциалов его электродов, называемой электродвижущей силой гальванического элемента (Э.Д.С.). В гальваническом элементе анодом всегда служит электрод с более отрицательным или менее положительным значением электродного потенциала, катодом – электрод с менее отрицательным или более положительным значением электродного потенциала.

Если, например, из окислительно-восстановительных систем  $Fe^0 | Fe^{2+}$  и  $Ni^0 | Ni^{2+}$  составить электрическую цепь, т.е. железную

и никелевую пластинки погрузить соответственно в растворы их солей  $FeSO_4$  и  $NiSO_4$ , соединив внешней цепью (проволокой), то получим гальванический элемент, который схематически изображается следующим образом:

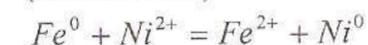


В данном примере анодом является железная пара,  $E^0_{Fe^0 | Fe^{2+}} = -0,44$ В, катодом никелевая пара,  $E^0_{Ni^0 | Ni^{2+}} = -0,25$ В. На аноде всегда идет процесс окисления, на катоде – процесс восстановления.

Процессы, происходящие на электродах в железно-никелевом гальваническом элементе:

На аноде  $Fe^0 - 2e = Fe^{2+}$  (окисление)  
(восстановитель)

на катоде  $Ni^{2+} + 2e = Ni^0$  (восстановление)  
(окислитель)



Э.Д.С. гальванического элемента рассчитывается как разность электродных потенциалов:

$$\text{Э.Д.С.} = E_{\text{окислителя}} - E_{\text{восстановителя}}$$

(катод)                      (анод)

Электродный потенциал зависит не только от природы материала, но и от концентрации ионов металла в растворе. Это зависимость математически выражается уравнением Нернста:

$$E = E^0 + \frac{0,058}{n} \text{Lg}C,$$

где  $E$  – электродный потенциал;

$E^0$  – нормальный электродный потенциал (измеренный в стандартных условиях);

$C$  – концентрация ионов металла в растворе моль/литр;

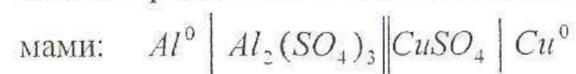
$n$  – число электронов, которое теряет металл, превращаясь в ион.

### 3. Экспериментальная часть

#### 3.1. Изготовление медно-цинкового гальванического элемента

В стакан налейте 1М раствора сульфата цинка ( $\frac{1}{2}$  его объема) и опустите в него цинковый электрод. В другой стакан налейте столько же

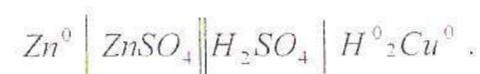
раствора сульфата меди той же концентрации и опустите медный электрод. Соедините растворы обоих стаканов U-образной трубкой, наполненной агар-агаром. Полюсы гальванического элемента присоедините к гальванометру. Что наблюдаете? Как можно объяснить возникновение электрического тока в цепи? Какой из полюсов заряжен отрицательно и почему? Вычислите Э.Д.С. гальванического элемента. Аналогичные опыты проделайте с гальваническими элементами, выраженными схемами:



Вычислите Э.Д.С. данных гальванических элементов. Напишите процессы, протекающие на электродах, и суммарные уравнения окислительно-восстановительных реакций, за счет которых работают данные гальванические элементы.

### 3.2. Гальванический элемент с водородной деполяризацией

Для этого опыта соберите гальванический элемент, выраженный схемой:



В один стакан налейте (до  $\frac{1}{2}$  его объема) 1М раствор сульфата цинка, а в другой – такой же объем 1М раствора серной кислоты. Оба раствора соедините электролитным мостиком, заполненным насыщенным раствором хлорида калия в смеси с агар-агаром. В стакан с раствором сульфата цинка поместите цинковую пластинку, а в другой – медную. Заметьте по гальванометру направление тока. Подсчитайте теоретическую величину Э.Д.С. элемента, имея в виду, что катодом является водородный электрод.

### 3.3. Влияние концентрации электролита на напряжение электрохимического элемента

В один стакан налейте 1М раствора сульфата меди, в другой – 1М раствора сульфата цинка. Оба раствора в стаканах соедините электролитным мостиком, заполненным агар-агаром. В стакан с раствором сульфата меди поместите медную пластинку, а в стакан с раствором сульфата цинка – цинковую. Замкните цепь и напишите, какое напряжение тока покажет гальванометр. Выразите процессы, протекающие на

электродах. Составьте тот же гальванический элемент, используя 0,1М, 0,01М растворы сульфата меди. Что при этом наблюдаете? Запишите показания гальванометра, сопоставляя с предыдущим показанием. Сделайте вывод о влиянии концентрации электролита на Э.Д.С. элемента.

### 3.4. Концентрационный гальванический элемент

Соберите гальванический элемент из цинковой пластинки, погруженной в 2М раствор сульфата цинка, и из цинковой пластинки, погруженной в 0,05М раствор сульфата цинка. Напишите уравнения химической реакции, идущей в элементе при его работе. Вычислите Э.Д.С. данного гальванического элемента.

## 4. Контрольные вопросы и задания

4.1. Составить схемы двух гальванических элементов, в одном из которых никель является катодом, в другом – анодом. Написать уравнения процессов, протекающих на никелевом электроде во время работы элементов в первом и во втором случаях.

4.2. Дать схему гальванического элемента, составленного из магниевой и железной пластинок, опущенных в растворы их солей. Написать уравнения катодного и анодного процессов за время работы элементов и вычислить Э.Д.С. элементов при использовании 1М растворов солей.

4.3. Вычислить Э.Д.С. гальванического элемента, составленного из цинковой и серебряной пластинок, опущенных соответственно в 1М растворы их солей.

4.4. Что называется концентрационным гальваническим элементом?

4.5. Определить Э.Д.С. гальванического элемента, состоящего из никелевого электрода, погруженного в 0,5М раствор сульфата никеля.

4.6. Что такое деполяризация?

4.7. Какие вещества являются катодными деполяризаторами?

## Лабораторная работа КОРРОЗИЯ МЕТАЛЛОВ

Цель работы: изучить процесс электрохимической коррозии металлов и ознакомиться с некоторыми методами борьбы с ней.

### 1. Реактивы и оборудование

1.1. Приборы: пробирки, наждачная бумага, фильтровальная бумага.

1.2. Кристаллические вещества: гвозди железные, алюминиевая проволока, оцинкованное железо, луженое железо, цинк, железо, алюминий, хлорид натрия кристаллический.

1.3. Растворы: сульфат меди 0,5н, нитрат ртути 0,5н, хлорид меди 0,5н, хлорид натрия 3%, гидроксид натрия 2н, серная кислота 2н, азотная кислота концентрированная, соляная кислота 1н, 0,3н, 0,02н, гексоцианоферрат (III) калия 0,5н, анилин, йодид калия 0,5н.

### 2. Теоретическая часть

Всякий процесс химического разрушения металла под действием окружающей среды называется коррозией. Различают два вида коррозии: химическую и электрохимическую.

Химическая коррозия – это разрушение металла окислением его в окружающей среде без возникновения в системе электрического тока. К ней относится, например, газовая коррозия, коррозия в воздухе, когда металл подвергается воздействию различных газов ( $CO_2$ ,  $SO_2$  и др.). В этом случае на поверхности металла образуются соответствующие соединения: оксиды, сернистые соединения, основные соли угольной кислоты и др., которые не редко покрывают поверхность плотным слоем, защищающим металл от дальнейшего окисления этими же веществами.

Электрохимическая коррозия (наиболее распространенный вид коррозии) – это разрушение металла в среде электролита с возникновением в системе электрического тока. Возникновение последнего обусловлено образованием на поверхности корродирующего металла микрогальванических элементов. Известно, что действие гальванического элемента сопровождается растворением анода и восстановительным процессом на катоде. Следовательно, при электрохимической коррозии на поверхности металла образуются некоторые участки, служащие анодом гальванического элемента и, таким образом, подвергающиеся разрушению. Причины возникновения электрохимической коррозии могут быть различными. К ним относятся, например, наличие в основном металле примесей другого, соприкосновение двух различных металлов, неоднородности на поверхности металла, дифференциальная аэрация и т.д., но обязательным условием этого типа коррозии является наличие в

системе электролита. Во всех случаях анодом является металл или участок его поверхности с более отрицательным электродным потенциалом. Например, если в электролите ( $HCl$ ) соприкасаются друг с другом железная и медная пластинки, то анодом служит железо ( $E^0 = -0,44$ в), катодом – медь ( $E^0 = +0,34$ в.). Процесс на аноде выражается:  $Fe^0 - 2\bar{e} = Fe^{2+}$  (окисление), на катоде (на поверхности меди):  $2H^+ + 2\bar{e} = H_2$  (восстановление). Если среда нейтральная (например  $H_2O$ ), то при том же анодном процессе, катодный – протекает следующим образом:  $2H_2O + O_2 + 4\bar{e} = 4OH^-$ , т.е. окислителем являются не ионы водорода, а молекулы кислорода, растворенного в воде.

#### 2.1. Защита от коррозии

Разнообразные приемы защиты от коррозии разделяют на три основных вида: электрохимическая защита, нанесение покрытий и внесение в коррозионную среду веществ, замедляющих коррозию, ингибиторов. При электрохимической защите металл соединяют или с отрицательным полюсом внешнего источника тока (электрозащита), или с более электроотрицательным металлом (протектором). Принцип действия в обоих случаях одинаков: защищаемый металл получает электроны, становясь катодом по отношению к электролиту и, следовательно, не должен корродировать. Метод применим только в хорошо проводящей среде, но не в атмосферных условиях. Нанесение покрытий преследует цель: оградить поверхность металла от действия агрессивной среды. Покрытия могут быть как металлические (хромирование, никелирование, лужение), так и неметаллические (лаки, краски, эмали и т.д.). Вещества, вводимые в среду для замедления коррозии (ингибиторы), по своему химическому составу относятся к различным классам химических соединений, например, к альдегидам, аминопроизводным и др. Сильными замедлителями коррозии стали в воде являются хроматы, нитриты, нитраты, фосфаты щелочных металлов. Эти вещества получили название пассиваторов, их иногда называют также ингибиторами.

### 3. Экспериментальная часть

#### 3.1. Определение относительной скорости коррозии железа при контакте с различными металлами

Возьмите 4 одинаковых железных гвоздя, один из них покройте медью, другой – ртутью. Для этого хорошо очистите их наждачной бумагой и опустите на 2–3 минуты в растворы солей меди и ртути. Гвозди выньте из растворов и ополосните водой.

К третьему гвоздю прикрепите кусочек цинковой пластинки (или возьмите такой же по величине кусочек оцинкованного железа). Четвертый – оставьте без изменения для контроля. Затем опустите все 4 гвоздя

в пробирки, содержащие приблизительно по 3 мл. 0,02н раствора соляной кислоты. Наблюдайте за скоростью растворения железа во всех пробирках. Через 5 минут выньте проволоки и добавьте к растворам по 2–3 капли реактива на присутствие ионов  $Fe^{2+} - K_3[Fe(CN)_6]$ . Хорошо перемешайте и по интенсивности окраски сделайте вывод о количестве растворившегося железа и о влиянии металлов меди, ртути и цинка на скорость растворения железа. Составьте схемы действия образовавшихся гальванических пар.

### 3.2. Активаторы коррозии. Влияние на коррозию иона хлора

В две пробирки порознь налейте по 3 мл. раствора сульфата и хлорида меди ( $CuSO_4, CuCl_2$ ) и погрузите в них одинаковые кусочки алюминиевой фольги. Через некоторое время наблюдайте выделение на поверхности одной из пластинок слоя металлической меди. Отметьте, в какой? Затем в пробирку с раствором сульфата меди добавьте несколько кристалликов хлорида натрия и наблюдайте, какие произошли изменения. Дайте объяснения проделанным опытам.

### 3.3. Значение защитных пленок в процессе коррозии на примере алюминия

Две проволоки алюминия погрузите на минуту в раствор едкого натра, затем промойте водой и высушите между листами фильтровальной бумаги. Одну из очищенных проволок поместите на 1–2 минуты в пробирку с раствором нитрата ртути, другую оставьте для сравнения. Выньте проволоку, промойте водой и наблюдайте за изменением поверхности алюминия на воздухе. Составьте уравнение реакции взаимодействия алюминия с нитратом ртути. Сопоставьте с поверхностью другой проволоки. Какое вещество образуется на поверхности алюминия, обработанного в растворе нитрата ртути?

Обе проволоки одновременно погрузите в две пробирки с водой: происходит ли выделение газа (какого?) и в какой пробирке. Объясните наблюдаемые явления, напишите реакцию взаимодействия алюминия с водой в молекулярном и ионном виде.

### 3.4. Защитные свойства металлических покрытий

В две пробирки налейте по 3–4 мл. 0,3н раствора соляной кислоты и прибавьте по 2–3 капли раствора  $K_3[Fe(CN)_6]$  – реактива на ионы  $Fe^{2+}$ . Затем в одну пробирку опустите пластинку оцинкованного железа, в другую – луженого. В какой пробирке наблюдается более интенсивное окрашивание? Объясните процессы, протекающие в пробирках, составьте схему действующих гальванических элементов.

### 3.5. Протекторная защита

В стакан с разбавленной уксусной кислотой (0,2–0,4н), к которой прибавлено несколько капель раствора  $KJ$ , поместите цинковую и свинцовую пластинки в контакте друг с другом через электропровод. Другую пластинку свинца для сравнения опустите во вторую пробирку с тем же раствором. В каком сосуде скорее появится желтое окрашивание (образование  $PbJ_2$  желто-золотистого цвета)? Составьте схему действия гальванопары. Объясните результаты опыта.

### 3.6. Электрозащита

В небольшой стакан налейте 3%-й раствор хлорида натрия, добавьте к нему 2–3 капли раствора  $K_3[Fe(CN)_6]$  и опустите до половины две железные проволоки. Отметьте, что наблюдаете у поверхности обеих проволок? Затем присоедините обе проволоки к источнику постоянного тока (аккумулятор). Какие изменения наблюдаете в растворе у поверхности обеих проволок? Объясните результаты наблюдений.

### 3.7. Действие ингибиторов

Налейте в три пробирки по 2–3 мл. 1н раствора соляной кислоты. В одну из них поместите кусочек цинка, во вторую – кусочек железа, в третью – алюминия. Если в какой-либо из пробирок реакция протекает медленно, слегка нагрейте ее. Когда выделение водорода станет интенсивным, прибавьте в каждую пробирку по 3–4 капли ингибитора анилина или уротропина. Какой наблюдается эффект? Во всех ли случаях анилин или уротропин является эффективным ингибитором?

### 3.8. Пассивирование металлов

Хорошо очистите наждаком два стальных гвоздя. Налейте в пробирку до 1/3 объема концентрированной азотной кислоты и поместите в нее гвозди на 2–3 минуты. Выньте щипцами гвоздь из пробирки, промойте его водой из под крана и опустите в стакан с разбавленной серной кислотой. Для сравнения в тот же стакан поместите второй гвоздь (непассивированный). На каком образце выделяется водород и почему?

## 4. Контрольные вопросы

- 4.1. Что такое коррозия? Какие виды коррозии вы знаете?
- 4.2. Как будет протекать в кислой среде коррозия железа: а) покрытого медью; б) покрытого марганцем? Ответ мотивируйте.
- 4.3. Какие существуют методы защиты металлов от коррозии?
- 4.4. Какие покрытия называются анодными, катодными?
- 4.5. В каком случае коррозия железа будет происходить быстрее: в случае луженого железа или оцинкованного? Приведите схему работы микрогальванопар.

## Лабораторная работа ЭЛЕКТРОЛИЗ

Цель работы: провести электролиз ряда водных растворов солей, изучить влияние природы электролита и материала электродов на протекание процесса.

### 1. Реактивы и оборудование

1.1. Оборудование: электролизер (U – образная трубка), электроды графитовые и медные, батарея, наждачная бумага.

1.2. Растворы: сульфат натрия, хлорид натрия, хлорид меди, йодид меди, йодид калия, серная кислота, хлорид титана.

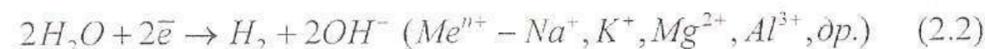
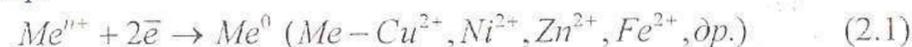
### 2. Теоретическая часть

Электролиз – это окислительно-восстановительный процесс, протекающий при прохождении электрического тока через раствор или расплав электролита.

В процессе электролиза протекают электрохимические процессы, состоящие в обмене электронами между электродом и ионами (молекулами) раствора или расплава.

На катоде – отрицательном электроде – идут процессы восстановления.

Например:



На аноде – процессы окисления:

(Г – галогенид – ион)



На электродные процессы оказывают большое влияние природа электролита, его концентрация, материал электрода, плотность тока.

Разряд ионов металла на катоде определяется положением металла в ряду стандартных электродных потенциалов (т.е. значением стандартного электродного потенциала,  $E^0$ ).

Чем меньше (отрицательнее) величина потенциала, тем труднее ион разряжается. При электролизе водных растворов солей активных металлов, стоящих в ряду стандартных электродных потенциалов до алюминия включительно, на катоде восстанавливается вода ( $E^0 = -0,83\text{В}$ ). При этом выделяется газ водород (процесс 2.2). При электролизе водных растворов солей цинка, железа, никеля восстанавливаются ионы соответствующих металлов (2.1).

При использовании инертных (нерастворимых) электродов (уголь, графит, платина) на аноде происходит окисление анионов, молекул раствора. Если анион соли бескислородный, то он разряжается на аноде (2.3, 2.4), если кислородосодержащий, то разряжается вода ( $E^0 = +1,23\text{В}$ ) (2.5).

На активном растворимом аноде (медь, цинк, никель) происходит не разряд ионов, а растворение металла, т.е. переход ионов металла (анода) в раствор (2.6).

Схема окислительно-восстановительного процесса, протекающего при электролизе, получается суммированием схем анодного и катодного процессов.

Массу вещества, получаемого при электролизе, определяют по законам Фарадея.

### 3. Экспериментальная часть

#### 3.1. Опыты по электролизу проводят в полумикроэлектролизере

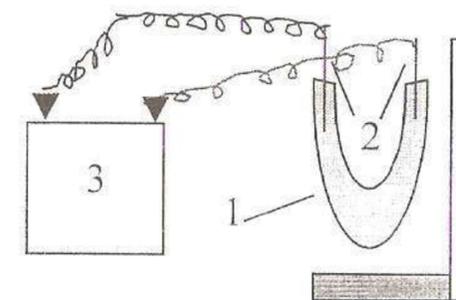


Рис. 2.1. Полумикроэлектролизер:

1. – U-образная трубка; 2. – Электроды; 3. – Батарея

Во всех опытах электролизер заполняют раствором электролита на 2/3 своего объема. Электролизер и электроды перед каждым опытом тщательно промывают дистиллированной водой. Пробки в электролизере вставляют не плотно.

#### 3.2. Электролиз водных растворов с нерастворимым анодом

##### 3.2.1. Электролиз раствора сульфата натрия

Заполните электролизер раствором сульфата натрия, добавьте несколько капель фенолфталеина, опустите графитовые электроды, соедините их с полюсами батареи. Через некоторое время наблюдается появление малинового окрашивания у одного из электродов.

Объясните наблюдаемое явление. Составьте схемы электродных процессов.

##### 3.2.2. Электролиз раствора хлорида натрия

Заполните электролизер раствором хлорида натрия, добавьте несколько капель фенолфталеина, опустите графитовые электроды, соедините их с полюсами батареи.

Через некоторое время наблюдается выделение газообразных веществ на аноде и катоде.

Составьте схему электролиза. Какие газы выделяются в процессе электролиза? У какого электрода наблюдается малиновое окрашивание? Почему?

### 3.2.3. Электролиз хлорида меди

Заполните электролизер раствором хлорида меди, опустите графитовые электроды, соедините их с полюсами батареи. Составьте схему электролиза. Какие продукты получаются на аноде и катоде?

### 3.2.4. Электролиз раствора йодида калия

Заполните электролизер раствором йодида калия, добавьте несколько капель фенолфталеина, опустите графитовые электроды, соедините их полюсами батареи.

Обратите внимание на изменение окраски у анода и катода. Составьте схемы электродных процессов.

### 3.2.5. Электролиз водного раствора хлорида титана

Заполните электролизер раствором соли титана (IV), опустите графитовые электроды, соедините их с источниками постоянного тока. Наблюдайте в одном колене электролизера окрашивание раствора в фиолетовый цвет характерный для иона  $Ti^{3+}$ .

Составьте схемы электродных процессов. Почему ионы Ti (IV) при электролизе не восстанавливаются до элементарного титана?

## 3.3. Электролиз раствора с растворимым анодом

### 3.3.1. Электролиз водного раствора серной кислоты с медным анодом

Заполните электролизер серной кислотой, опустите графитовый и медный электроды, присоедините их к полюсам батареи (медный к положительному полюсу).

Что наблюдаете? Какие процессы происходят на электродах? Составьте схемы электродных процессов. С какой целью в технике используется электролиз с растворимым анодом?

## 4. Контрольные вопросы.

4.1. В какой последовательности будут восстанавливаться катионы при электролизе смеси следующего состава:  $Fe^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$ ,  $Hg^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$  при одинаковой малярной концентрации соответствующих солей в растворе?

4.2. Изменится ли количественное содержание каждой из указанных солей в растворе при электролизе водных растворов: а) NaCl и KBr; б)  $K_2CO_3$  и  $AlCl_3$ ; в)  $CuSO_4$  и  $AgNO_3$ ? Ответ обоснуйте.

4.3. Какие процессы протекают при электролизе водного раствора хлорида никеля: а) если анод никелевый; в) если анод угольный?

4.4. Какие продукты получаются при электролизе водных растворов: а)  $BaCl_2$ ; б)  $NaBr$ ; в)  $ZnSO_4$ ; г)  $Pb(NO_3)_2$ , если анод угольный?

4.5. Какое количество (в граммах) Ag, Cu, Zn выделится при электролизе соответствующих солей, если через раствор пропустить количество электричества в 1F?

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

### Основная:

Коровин Н.В. Общая химия: Учебник. - 2-е изд., испр. и доп. - М.: Высш. шк., 2000. - 558 с.: ил.

Коровин Н.В. Лабораторные работы по химии: Учебное пособие для студ. вузов / Н.В.Коровин, Э.И.Мингулина, Н.Г.Рыжова; Под ред. Н.В.Коровина. - 3-е изд., испр. - М.: Высш. шк., 2001.- 255 с.: ил.

Павлов Н.Н. Общая и неорганическая химия: Учеб. для вузов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Дрофа, 2002. - 458 с.: ил.

Фролов В.И., Курохтина Т.М., Дымова З.Н. и др. Практикум по общей и неорганической химии: Пособие для студентов вузов /Под ред. Н.Н. Павлова, В.И. Фролова.- 2-е изд., перераб. И доп. - М.: Дрофа, 2002. - 304 с.: ил.

Лучинский Г.П. Курс химии: Учебник для инженерно-технических (нехимических) вузов / Г.П.Лучинский. - М.: Высш. шк., 1985. - 416 с.

### Дополнительная:

Ахметов Н.С. Общая и неорганическая химия: Учебник для студ. химико-технологических спец. вузов / Н.С.Ахметов. - 4-е изд., испр. - М.: Высш. шк.: Академия, 2001. - 743 с. : ил.

Ахметов, Н.С. и др. Лабораторные и семинарские занятия по общей и неорганической химии: Учебное пособие / М.К.Азизова, Н.С.Ахметов, Л.И.Бадьгина. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Высш. шк.: Академия, 1999. - 368 с.: ил.

Глинка Н.Л. Общая химия: Учебное пособие для вузов / Н.Л.Глинка; Под ред. канд. хим. наук В.А. Рабинович. - 27-е изд., стереотип. - СПб.: Химия, 1988. - 704 с.

Глинка Н.Л. Задачи и упражнения по общей химии: Учебное пособие для вузов / Н.Л.Глинка; Под ред. В.А. Рабиновича, Х.М. Рубиной. - 26-е изд., стер. - Л.: Химия, 1988. - 272 с.

Методические указания состоят из двух частей: теоретической и экспериментальной.

Изучение теоретического материала способствует усвоению данной темы, что позволяет грамотно выполнить эксперимент. Методика выполнения опытов подробно описана в экспериментальной части. С целью закрепления изученного материала приводятся контрольные вопросы.

Методические указания к лабораторному практикуму являются руководством для подготовки и проведения лабораторных работ по курсу химия (раздел II) для студентов I курса специальностей: 013100 – экология, 280900 – конструирование швейных изделий, 351100 – товароведение и экспертиза товаров, 280800 – технология швейных изделий.

Составитель: Саверченко А.Н., канд. хим. наук, доцент

Рецензент: Михальченко Т.К., канд. хим. наук, доцент

Печатается по решению РИСО ВГУЭС

## ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ И ВЕДЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО ЖУРНАЛА

Подготовка к каждому лабораторному занятию проводится учащимися дома по учебнику, лекционным записям и по руководству к лабораторным работам.

Перед началом работы в лаборатории следует получить и подготовить все необходимое оборудование и материалы.

Реактивы размещаются в специальных настольных реактивных ящиках.

Во время проведения опыта на рабочем месте не должно быть ничего лишнего; необходимо поддерживать на нем чистоту и порядок.

Некоторые опыты следует проводить в вытяжном шкафу, о чем при описании работы сделаны соответствующие указания.

По окончании работы учащиеся проверяют расположение реактивов в настольном реактивном ящике (порядковые номера на склянках должны совпадать с порядковыми номерами на гнездах ящика), сдают лаборанту полученные реактивы, материалы и оборудование, тщательно моют посуду и убирают свое рабочее место.

При подготовке к лабораторным работам и при проведении их учащиеся должны вести записи в специальной тетради – лабораторном журнале. В лабораторном журнале отмечаются дата, номер и наименование темы, номер и название опыта, краткое описание опыта: условия его проведения, количество реактивов, все наблюдаемые явления и изменения, химизм процесса и краткие выводы.

При описании опыта не следует дословно переписывать текст учебного пособия. Нужно научиться применять собственные четкие формулировки, пользоваться структурными формулами. Записи должны быть лаконичными.

Особое внимание следует обратить на запись наблюдений, отмечать изменение окраски, выпадение и растворение осадка, появление характерного запаха и т.д., а также на краткие выводы. Правильно сделанные выводы на основе результата опыта или группы опытов говорят об усвоении теоретического материала по данной теме. Наблюдения и краткие выводы учащиеся записывают при проведении опыта в лаборатории, все остальные записи делаются предварительно при подготовке к лабораторным работам.

Для иллюстрации приведем образец записи в лабораторном журнале.

Дата: 10.X

Тема: Алканы

Название лабораторной работы: Получение метана и изучение его свойств.

Опыт 1. Получение метана и его горение.

Краткое описание опыта: В сухую пробирку, снабженную пробкой с газоотводной трубкой поместили смесь из обезвоженного  $CH_3COONa$  и натронной извести в соотношении примерно 1:2 (слой высотой 4-6 мм). Нагрели пробирку в пламени горелки. Подожгли выделяющийся метан у конца газоотводной трубки. Метан горит голубоватым несветящимся пламенем.

Химизм процесса:



Вывод: При нагревании натриевой соли уксусной кислоты с натронной известью происходит расщепление соли с образованием метана. Метан – горючий газ.

## Лабораторная работа № 1 ОЧИСТКА ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ. КАЧЕСТВЕННЫЙ ЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Цель работы: изучить методы очистки органических соединений. Установить качественный состав органического вещества.

### 1. Теоретическая часть

Важнейшая задача органического синтеза – получение чистых веществ. Обычно органические препараты, получаемые в результате той или иной реакции представляют собой "сырые" продукты, загрязненные примесями. "Сырые" продукты подвергаются очистке, при этом пользуются различными методами очистки органических веществ: кристаллизация; возгонка (сублимация); экстракция; перегонка; хроматография.

#### 1.1. Кристаллизация

Кристаллизацией называется переход вещества из любого агрегатного состояния в твердое. При растворении загрязненного вещества и последующей кристаллизации примеси обычно остаются в растворе. Нерастворимые примеси легко отделить фильтрованием горячего раствора. Выбор наиболее подходящего растворителя имеет решающее значение при очистке вещества кристаллизацией. Вещества с неполярными и малополярными молекулами лучше растворяются в неполярных растворителях. Вещества, молекулы которых полярны или построены по ионному типу, лучше растворимы в полярных растворителях. Выбранный для перекристаллизации растворитель должен либо хорошо растворять примеси, либо совсем не растворять их и не должен взаимодействовать с очищаемым веществом.

После фильтрования горячий раствор (маточник) охлаждают. При быстром охлаждении получаются мелкие кристаллы, а при медленном – крупные. Выпавшие кристаллы отфильтровывают, удобнее всего отсасывать жидкость, используя фарфоровую воронку с дырчатым дном ("воронка Бюхнера").

#### 1.2. Возгонка

Возгонка – это процесс испарения твердого вещества с последующей конденсацией пара в твердое состояние, минуя жидкую фазу. Этим способом пользуются для очистки твердых веществ, имеющих достаточно большое давление пара при сравнительно невысокой температуре. Возгонка применима особенно в тех случаях, когда очистка твердого

органического вещества от смолистых примесей путем кристаллизации не достигается. Возгонка представляет собой относительно медленный процесс.

### 1.3. Качественный элементный анализ органических соединений

В состав органических веществ, кроме углерода, чаще всего входят еще водород, кислород и азот. Наряду с ними в молекулу органического вещества могут входить и другие элементы, например сера, галогены, фосфор.

Для определения элементов, входящих в состав органических веществ, их необходимо предварительно перевести в неорганические соединения, для дальнейшего исследования которых применяют методы обычного качественного анализа. Например, специальными методами углерод переводят в оксид углерода (IV), водород — в воду, азот — в цианистый натрий и т.д. Для определения кислорода обычно не пользуются качественными реакциями. О его присутствии судят по данным количественного анализа.

## 2. Экспериментальная часть

### 2.1. Перекристаллизация

В пробирку внесите немного (~0,2 г) бензойной кислоты, прилейте 5-8 мл воды. Смесь нагрейте до кипения. Кислота должна полностью раствориться. Горячий раствор быстро профильтруйте через складчатый фильтр и разделите на две части. Одну часть быстро охладите, погружая пробирку в холодную воду. Другую часть горячего раствора оставьте медленно охлаждаться на воздухе (20-25 мин.).

Что наблюдаете при охлаждении растворов? Обратите внимание на размеры кристаллов в обеих частях.

Полученные кристаллы бензойной кислоты отфильтруйте на воронке Бюхнера.

### 2.2. Возгонка

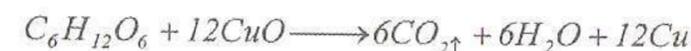
В небольшую фарфоровую чашку поместите 0,2 г бензойной кислоты, чашку накройте фильтровальной бумагой, в которой проделаны небольшие отверстия. Накройте фарфоровую чашку опрокинутой стеклянной воронкой. Отводную трубку воронки закройте тампоном из ваты. Чашку с веществом нагревайте на плитке. Внешнюю поверхность воронки охлаждают, помещая на нее влажную ткань. Нагревать чашку с веществом нужно осторожно, небольшое перегревание может способствовать быстрому термическому разложению возгоняемого вещества.

### 2.3. Определение углерода и водорода сожжением вещества с оксидом меди (II)

В сухую пробирку поместите тщательно перемешанную смесь, состоящую из 1 весовой части глюкозы и 8 весовых частей оксида меди (II). В верхнюю часть пробирки поместите небольшой кусочек ваты, на который поместите немного белого порошка безводного сульфата меди (II). Пробирку закройте пробкой с газоотводной трубкой, конец которой опустите в пробирку с баритовой (или известковой) водой. Пробирку с исследуемым веществом нагрейте в пламени спиртовки. Через несколько секунд из газоотводной трубки начинают выходить пузырьки газа и баритовая вода мутнеет вследствие выделения белого осадка карбоната бария.

Продолжайте нагревать пробирку с исследуемым веществом, пока пары воды не достигнут белого порошка обезвоженного медного купороса и не вызовут изменения его окраски вследствие образования кристаллогидрата  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ .

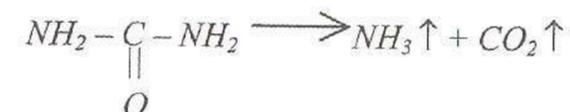
Химизм процесса:



### 2.4. Открытие азота нагреванием азотсодержащего органического вещества с натронной известью

В сухую пробирку поместите тщательно перемешанную смесь, состоящую из 1 части мочевины и 2 частей натронной извести. Смесь слегка нагрейте. Внесите влажную лакмусовую бумажку в пробирку, не касаясь стенок пробирки. Лакмусовая бумажка синее вследствие выделения аммиака.

Химизм процесса:



### 2.5. Проба Бейльштейна на галогены

Медную проволоку длиной 10 см с петлей на конце прокалите в пламени спиртовки до исчезновения посторонней окраски пламени. Остудите петлю, покрывшуюся черным налетом оксида меди (II), и опус-

тите в пробирку с испытуемым веществом. Внесите петлю в пламя спиртовки. Немедленно появляется характерная ярко-зеленая окраска пламени. При прокаливании кислород оксида меди (II) окисляет углерод и водород органического вещества в оксид углерода (IV) и воду, медь же образует с галогеном летучие соединения, которые и окрашивают пламя горелки в зеленый цвет. Появление зеленого окрашивания указывает на присутствие в органическом соединении галогена.

**Химизм процесса:**



### Контрольные вопросы

1. Перечислите методы очистки органических веществ.
2. Охарактеризуйте следующие методы очистки органических соединений: перекристаллизация, возгонка, экстракция.
3. Что такое качественный элементный анализ органических соединений?

## Лабораторная работа № 2 ПРЕДЕЛЬНЫЕ УГЛЕВОДОРОДЫ

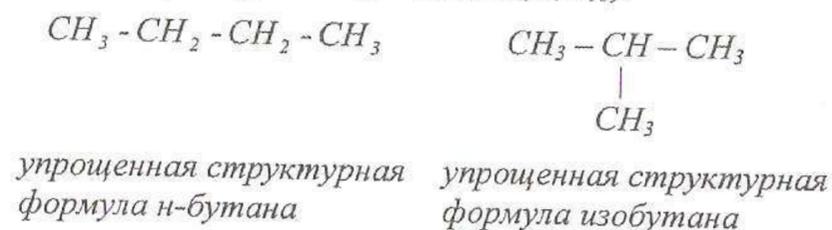
**Цель работы:** получение метана и изучение свойств предельных углеводородов.

### 1. Теоретическая часть

#### 1.1. Строение. Изомерия

К классу предельных углеводородов относят такие углеводороды, в молекулах которых углеродные атомы соединены друг с другом простыми связями, а все валентности углеродных атомов, не участвующие в их взаимном соединении, образуют связи с атомами водорода. Общая формула предельных углеводородов  $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ . Простейшим предельным углеводородом является метан, состав которого выражается формулой  $\text{CH}_4$ . В алканах атомы углерода находятся в первом валентном состоянии ( $sp^3$ -гибридизация) и образуют четыре прочные  $\sigma$ -связи.

Изомерия алканов проявляется в наиболее простом виде – структурной изомерии. Она зависит от характера углеродной цепи – прямой или разветвленной. Например, изомеры бутана ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ):



#### 1.2. Химические свойства

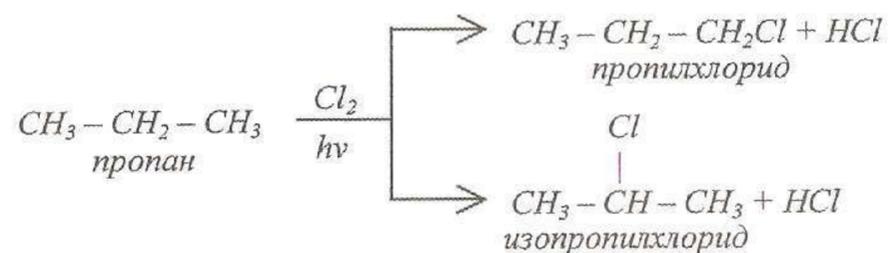
Предельные углеводороды химически малоактивны. Реакции могут протекать в особых условиях за счет разрыва связей в предельных углеводородах  $\text{C}-\text{C}$  или  $\text{C}-\text{H}$ . В зависимости от характера разрыва связей в предельных углеводородах различают два основных типа реакций:

- реакции замещения водорода (с разрывом  $\text{C}-\text{H}$  связи);
- реакции расщепления (с разрывом  $\text{C}-\text{H}$  связи или  $\text{C}-\text{C}$  связи).

##### 1.2.1. Реакции замещения

Легче всего происходит замещение водорода при третичном атоме углерода и труднее всего – при первичном.

На солнечном свете или при специальном освещении алканы вступают в реакцию замещения с галогенами. Замещение происходит постепенно, с образованием смеси галогенпроизводных и соответствующего галогеноводорода:

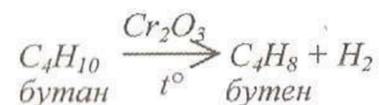


Под действием разбавленной азотной кислоты при нагревании и под давлением возможно замещение водорода в углеводородах на остаток азотной кислоты  $-\text{NO}_2$  (нитрогруппу):

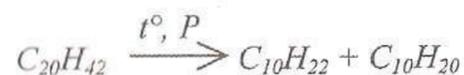


### 1.2.2. Реакции расщепления

При нагревании алканов в присутствии катализаторов может происходить отщепление водорода с образованием непредельных углеводородов:



При высокой температуре высокомолекулярные углеводороды расщепляются на более простые углеводороды (предельные и непредельные):



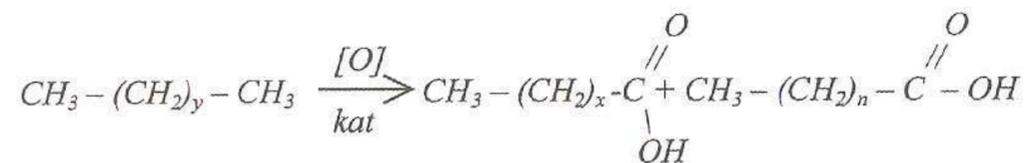
### 1.2.3. Реакции окисления

При обычной температуре предельные углеводороды устойчивы к действию даже самых сильных окислителей.

На воздухе предельные углеводороды горят с образованием диоксида углерода и воды:



При каталитическом окислении и сравнительно невысоких температурах высшие углеводороды образуют кислородсодержащие соединения (спирты, кислоты):



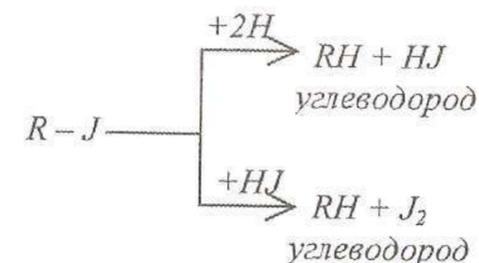
где  $y$  больше  $x$  и больше  $n$ .

## 1.3. Способы получения алканов

Наиболее распространены следующие способы получения алканов.

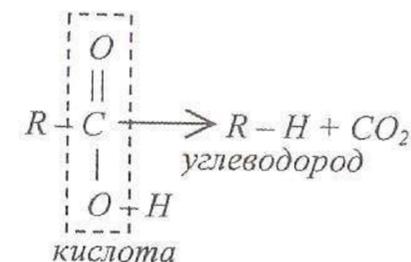
### 1.3.1. Восстановление галогенпроизводных

При замещении атомов галогенов в молекулах предельных галогенпроизводных на водород образуются предельные углеводороды. По этому способу получают углеводороды с тем же числом углеродных атомов, какое было в исходном галогенпроизводном. Наиболее удобно действие водорода в момент выделения или иодистоводородной кислоты на иодпроизводные:



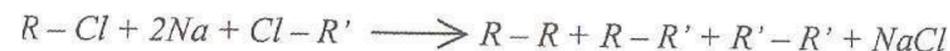
### 1.3.2. Получение из органических кислот

Органические карбоновые кислоты в различных условиях могут разлагаться с образованием предельного углеводорода по общей схеме:



### 1.3.3. Синтез Вюрца

При взаимодействии галогенпроизводных с металлическим натрием образуются предельные углеводороды.



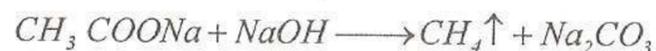
Из смеси двух галогенпроизводных по реакции Вюрца всегда образуется смесь трех углеводородов, каждый из которых содержит большее число углеродных атомов, чем исходные галогенпроизводные.

## 2. Экспериментальная часть

### 2.1. Получение метана и изучение его свойств

В сухую пробирку, снабженную пробкой с газоотводной трубкой, поместите смесь из обезвоженного ацетата натрия и натронной извести (примерно 1:2). Укрепите пробирку горизонтально и нагрейте смесь в пламени горелки.

**Химизм процесса:**



Подожгите выделяющийся газообразный метан у конца газоотводной трубки. Метан горит голубоватым несветящимся пламенем.

**Химизм процесса:**



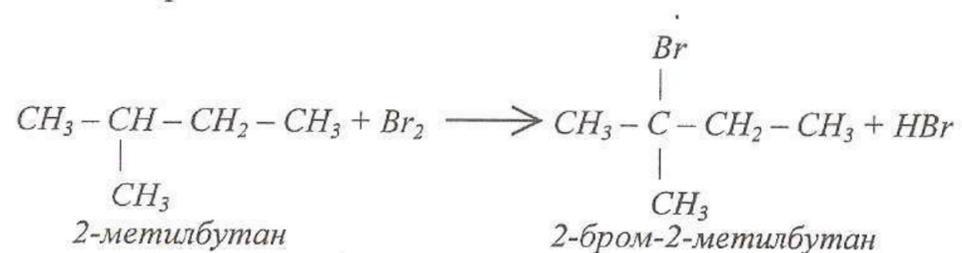
Налейте в одну пробирку 1-1,5 мл подкисленного раствора перманганата калия, а в другую – такой же объем бромной воды. Выделяющийся метан последовательно пропустите через раствор перманганата калия и бромную воду. Обесцвечивания растворов перманганата калия и бромной воды не происходит. В обычных условиях алканы устойчивы к действию окислителей.

### 2.2. Бромирование предельных углеводородов

В сухую пробирку поместите 4 капли смеси жидких алканов и добавьте 1-2 капли раствора брома. Содержимое пробирки перемешайте. Окраска брома при этом не исчезает.

Нагрейте содержимое пробирки до исчезновения окраски. В отверстие пробирки внесите стеклянную палочку, смоченную раствором аммиака. Появляется белый дымок  $\text{NH}_4\text{Br}$ . Пинцетом внесите в пробирку синюю лакмусовую бумагу, смоченную водой. Лакмусовая бумага краснеет, так как реакция бромирования жидких алканов сопровождается выделением бромистого водорода.

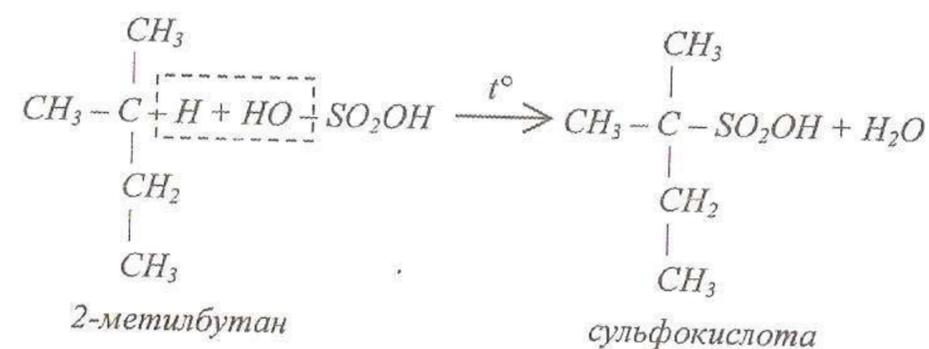
**Химизм процесса:**



### 2.3. Действие концентрированной серной кислоты на предельные углеводороды

В пробирку поместите 2 капли жидкого алкана и 2 капли серной кислоты. Содержимое пробирки энергично перемешайте, охлаждая пробирку проточной водой. В условиях опыта алканы с серной кислотой не реагируют. Содержимое пробирки слегка нагрейте. При небольшом нагревании дымящая серная кислота образует с алканами, содержащими третичный атом углерода, сульфокислоты.

**Химизм процесса:**



### 2.4. Окисление предельных углеводородов

В пробирку поместите 1 каплю исследуемого алкана (или смеси алканов), 1 каплю раствора карбоната натрия и 2-3 капли раствора перманганата калия. Содержимое пробирки энергично перемешайте. Фиолетовая окраска водного слоя не изменяется, так как алканы в этих условиях не окисляются.

### Контрольные вопросы

1. Какие углеводороды называют насыщенными, или предельными?
2. Что такое гомологический ряд? Какова гомологическая формула предельных углеводородов?
3. Какие вещества называются изомерами? Какой вид изомерии называют структурной?
4. Какие атомы углерода называют первичными, вторичными, третичными? Напишите формулы соединений, содержащих указанные атомы углерода.
5. Сформулируйте основные правила Международной номенклатуры для предельных углеводородов.
6. Химические свойства и способы получения предельных углеводородов.

## Лабораторная работа № 3 НЕПРЕДЕЛЬНЫЕ УГЛЕВОДОРОДЫ РЯДА ЭТИЛЕНА

**Цель работы:** получение непредельных углеводородов и изучение их свойств.

### 1. Теоретическая часть

#### 1.1. Строение. Изомерия

Углеводороды ряда этилена содержат в себе одну двойную связь между двумя соседними атомами углерода. По названию простейшего представителя (этилен) углеводороды этого ряда называются этиленовыми. Они носят еще название олефины, а по международной номенклатуре – алкены. Общая формула гомологического ряда алкенов  $C_nH_{2n}$ . В простейшем алкене  $n = 2$ . Это этилен  $C_2H_4$ .

Для алкенов наряду с изомерией углеродной цепи, как и у алканов, еще характерна изомерия положения двойной связи. Наличие двойной связи в алкенах и ее характер обуславливает появление нового вида изомерии, не наблюдаемого у алканов. В молекулах алканов одинарная связь между углеродными атомами допускает свободное вращение отдельных звеньев углеродной цепи. В этиленовых же углеводородах по месту двойной связи вращение невозможно. Поэтому водородные атомы и группы атомов у кратной связи в пространстве могут быть расположены различно. При этом возникают пространственные, или геометрические изомеры, иначе называемые цис-, транс-изомерами.

Изомерия, которая основана на различном пространственном расположении атомов или групп при атомах, соединенных двойной связью, называется геометрической изомерией.

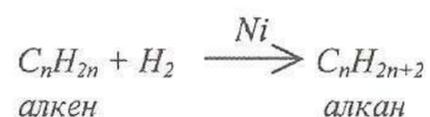
#### 1.2. Химические свойства

Химические свойства этиленовых углеводородов определяются наличием двойной связи. Для этиленовых углеводородов характерны реакции присоединения, окисления, полимеризации.

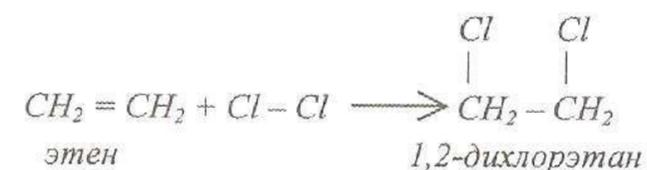
##### 1.2.1. Реакции присоединения

Все реакции присоединения носят электрофильный характер и приводят к образованию предельных соединений.

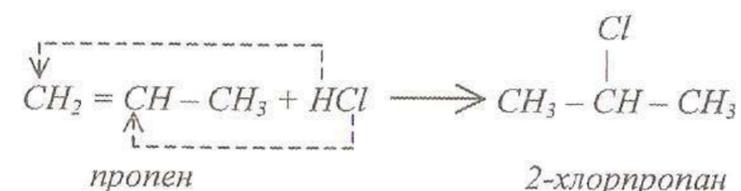
При присоединении к алкенам по месту двойной связи водорода в присутствии катализаторов образуются алканы:



Также происходит присоединение галогенов по месту двойной связи с образованием дигалогенпроизводных предельных углеводородов:



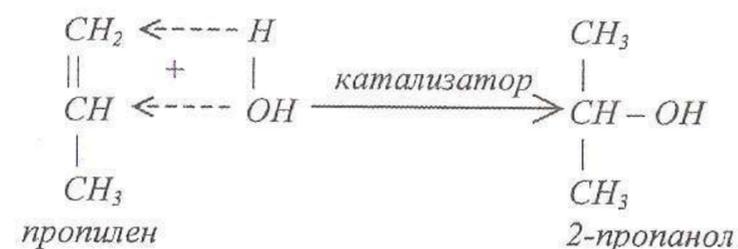
При взаимодействии алкенов с галогеноводородами образуются моногалогенпроизводные алканов:



Присоединение галогеноводорода к гомологам этилена протекает по правилу Марковникова.

##### 1.2.2. Присоединение воды (реакция гидратации)

В обычных условиях алкены не реагируют с водой, но при нагревании в присутствии катализаторов элементы воды (водород и гидроксил) присоединяются к углеродным атомам по месту двойной связи с образованием спиртов. С гомологами этилена реакция протекает по правилу Марковникова.



##### 1.2.3. Реакции окисления

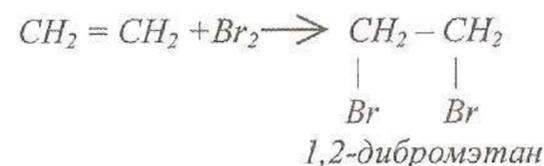
В зависимости от условий непредельные углеводороды окисляются в различной степени. При обычной температуре окисление протекает по месту двойной связи. При действии разбавленного раствора  $KMnO_4$  образуются двухатомные спирты – гликоли.

При действии  $KMnO_4$  с  $H_2SO_4$  на алкены происходит разрыв углеродной цепи по месту двойной связи с образованием кислородных соединений – кислот или кетонов, или их смеси:



лями бромной воды. Бромная вода быстро обесцвечивается вследствие присоединения атомов брома по месту двойной связи.

**Химизм процесса:**

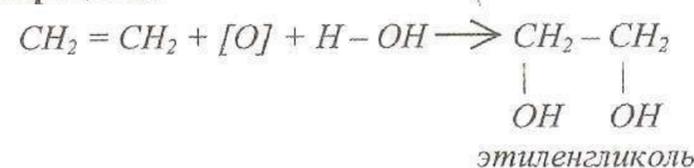


Реакция обесцвечивания водного раствора брома служит качественной реакцией на двойную связь.

### 2.3. Отношение этилена к окислителям

Не прекращая нагревания пробирки со смесью спирта и серной кислоты (см. 2.1), опустите конец газоотводной трубки в пробирку с 3 каплями раствора перманганата калия. Раствор перманганата калия быстро обесцвечивается. При этом алкен окисляется в двухатомный спирт.

**Химизм процесса:**



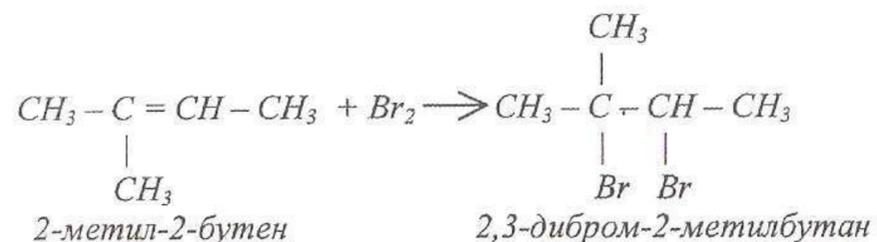
Эта реакция является качественной реакцией на двойную связь.

### 2.4. Бромирование непредельных углеводородов

(Опыт проводят в вытяжном шкафу!)

В сухую пробирку поместите 1 мл смеси жидких алкенов, добавьте 1-2 капли раствора брома и перемешайте смесь. Если желтая окраска не исчезает, то смесь нагревайте до исчезновения окраски. В пробирку внесите синюю лакмусовую бумагу, предварительно смоченную водой. Цвет лакмусовой бумаги не изменяется.

**Химизм процесса:**

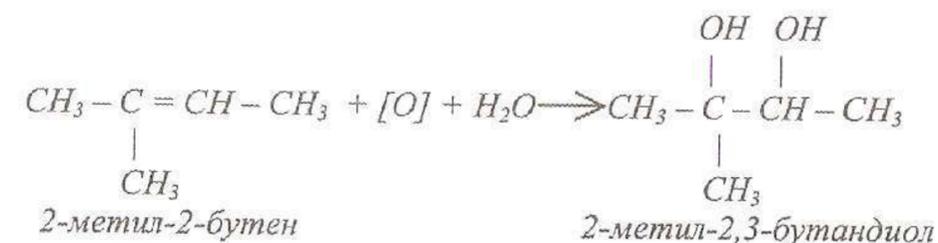


### 2.5. Окисление непредельных углеводородов

К 1 мл исследуемого вещества добавьте сначала равный объем раствора карбоната натрия, а затем при сильном взбалтывании 2-3 капли

раствора  $\text{KMnO}_4$ . Фиолетовый цвет исчезает и появляется коричневая окраска от образовавшегося оксида марганца (IV).

**Химизм процесса:**



Реакция окисления алкенов раствором перманганата калия в нейтральном или щелочном водных растворах служит в качестве аналитической реакции на двойную связь.

### Контрольные вопросы

1. Какие углеводороды называют ненасыщенными?
2. Какой состав и какую структурную формулу имеет этилен?
3. Какого типа реакции характерны для непредельных углеводородов? Приведите примеры этих реакций.
4. Приведите примеры лабораторных способов получения этиленовых углеводородов.

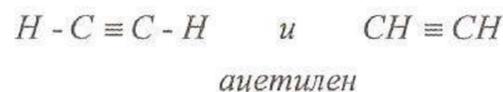
# Лабораторная работа № 4 НЕПРЕДЕЛЬНЫЕ УГЛЕВОДОРОДЫ РЯДА АЦЕТИЛЕНА

**Цель работы:** получение ацетилена и изучение его свойств.

## 1. Теоретическая часть

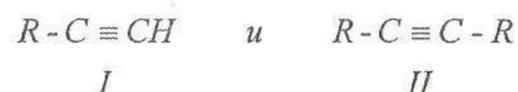
### 1.1. Строение. Изомерия

Ацетиленовыми углеводородами называют непредельные углеводороды, в молекулах которых имеется тройная связь между углеродными атомами, т.е. группировка  $-C \equiv C-$ . Состав каждого члена гомологического ряда ацетиленовых углеводородов может быть выражен общей эмпирической формулой  $C_nH_{2n-2}$ . Простейшим членом этого ряда является углеводород ацетилен состава  $C_2H_2$ , строение которого выражают структурная и упрощенная структурная формулы



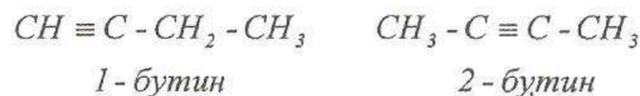
Гомологи ацетилена можно рассматривать как его производные, образовавшиеся в результате замещения одного или обоих атомов водорода в молекуле ацетилена на углеводородные радикалы.

Возможно два типа ацетиленовых соединений:



В соединениях первого типа при углероде с тройной связью имеется водород, в соединениях второго типа при атомах углерода с тройной связью его нет.

Изомерия ацетиленовых углеводородов обусловлена изомерией углеродного скелета и изомерией положения кратной связи.



### 1.2. Химические свойства

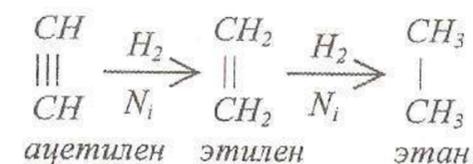
Ацетиленовым углеводородом, так же как и этиленовым, свойственны реакции присоединения по месту кратной связи, в данном случае тройной. Реакции присоединения по месту тройной связи идут ступенчато: вначале тройная связь разрывается, превращаясь в двойную, и образуются производные этиленовых углеводородов; затем разрывается и

двойная связь, превращаясь в простую с образованием производных предельных углеводородов. При энергичном химическом воздействии возможен распад молекул с разрывом углеродной цепи по месту тройной связи.

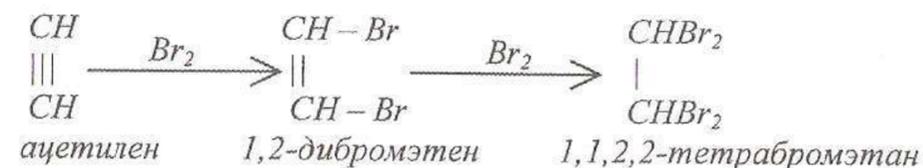
### 1.2.1. Реакции присоединения

Ацетиленовые углеводороды вступают в реакции присоединения как с простыми, так и сложными веществами.

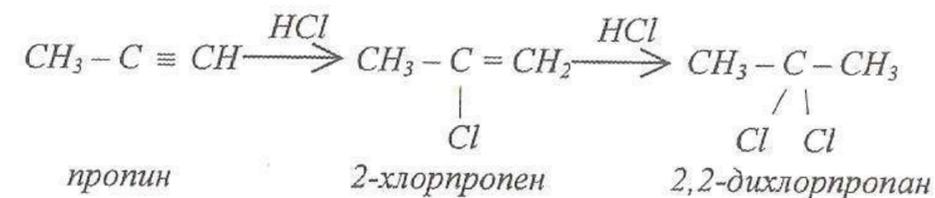
**Присоединение водорода (реакция гидрирования).** В присутствии катализаторов ацетиленовые углеводороды присоединяют по месту тройной связи водород. При этом вначале образуется этиленовый, а затем предельный углеводород:



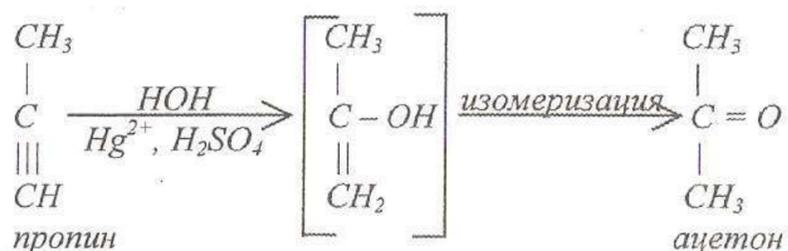
**Присоединение галогенов.** При взаимодействии ацетиленовых углеводородов с галогенами последние присоединяются по месту тройной связи. Реакция с бромом может быть использована как качественная реакция на тройную связь; в результате реакции бурая окраска брома или его растворов исчезает:



**Присоединение галогеноводородов.** Присоединение галогеноводородов также протекает ступенчато. При реакциях с ацетиленовыми углеводородами, построенными по типу  $R-C \equiv C-H$  галогеноводород присоединяется в соответствии с правилом Марковникова в обеих стадиях:



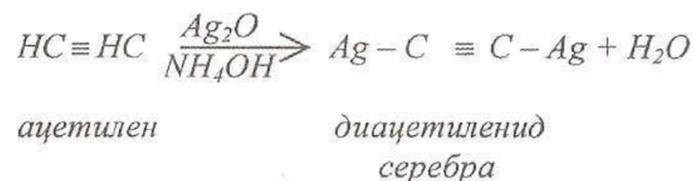
**Присоединение воды (реакция гидратации).** Присоединение воды (реакция Кучерова) происходит в присутствии солей ртути (II) в сернокислом растворе по месту тройной связи:



Таким образом, в результате реакции образуется соединение с карбонильной группой. В частности, из ацетилена при гидратации получается уксусный альдегид.

### 1.2.2. Замещение водорода при атомах углерода с тройной связью на металл

Отличительной особенностью ацетиленовых углеводородов является подвижность атомов водорода, соединенных с углеродными атомами при тройной связи. Под влиянием тройной связи атомы водорода проявляют способность замещаться на металл. При этом образуются металлические производные – ацетилениды. При взаимодействии ацетилена с аммиачным раствором оксида серебра образуется желтоватый осадок ацетиленида серебра:

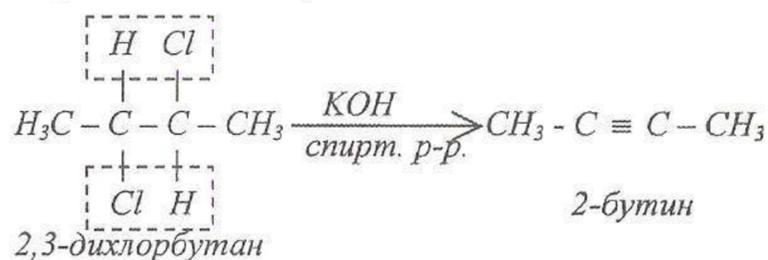


Соединения типа  $R-C \equiv C-R'$ , не имеющие водорода при тройной связи, ацетиленидов не образуют.

## 1.3. Способы получения ацетиленовых углеводородов

### 1.3.1. Отщепление галогеноводорода от дигалогенпроизводных

В исходном дигалогенпроизводном атомы галогена могут быть расположены либо при одном и том же углеродном атоме, либо при двух различных, но обязательно соседних углеродных атомах. При действии спиртового раствора щелочи на дигалогенпроизводные происходит отнятие двух молекул галогеноводорода:



### 1.3.2. Действие галогенпроизводных на ацетилениды

Этот метод является удобным для получения гомологов ацетилена и дает возможность переходить от простых ацетиленовых углеводородов к более сложным.



## 2. Экспериментальная часть

### 2.1. Получение ацетилена и его горение

Работу с ацетиленом необходимо проводить в вытяжном шкафу, так как неочищенный ацетилен, полученный из карбида кальция, содержит вредные, неприятно пахнущие примеси.

В пробирку поместите маленький кусочек карбида кальция, добавьте 2 капли воды и закройте пробирку пробкой с газоотводной трубкой. Что наблюдаете?

Химизм процесса:

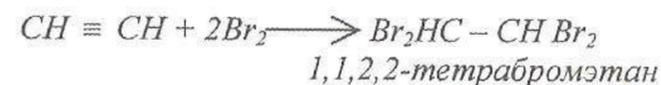


Подожгите ацетилен у конца газоотводной трубки. Он горит светящимся, коптящим пламенем.

### 2.2. Присоединение к ацетилену брома

Добавьте в пробирку с карбидом кальция (см. 2.1) ещё 2 капли воды и закройте ее пробкой с газоотводной трубкой, конец которой опустите в пробирку с 5 каплями бромной воды. Бромная вода обесцвечивается вследствие присоединения атомов брома по месту тройной связи.

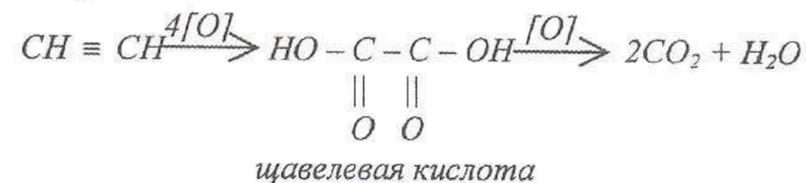
Химизм процесса:



### 2.3. Отношение ацетилена к окислителям

В пробирку поместите 5-7 капель перманганата калия и пропустите ток ацетилена (см. 2.1). Розовый раствор быстро обесцвечивается: происходит окисление ацетилена по месту разрыва тройной связи с образованием промежуточного продукта окисления – щавелевой кислоты, которая окисляется дальше до оксида углерода (IV) и воды.

Химизм процесса:



Обесцвечиванием бромной воды и раствора перманганата калия доказывается неопределенность ацетилена.

#### 2.4. Образование металлических производных ацетилена

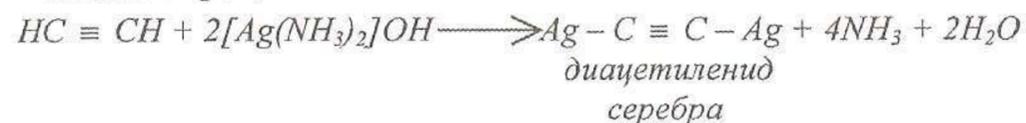
В пробирку внесите 2 капли раствора нитрата серебра и прибавьте 1 каплю раствора аммиака – образуется осадок гидроксида серебра. При добавлении 1-2 капли раствора аммиака осадок  $AgOH$  легко растворяется с образованием аммиачного раствора оксида серебра.

Реакция протекает по следующим уравнениям:



Через аммиачный раствор оксида серебра пропустите ацетилен (см. 2.1). В пробирке образуется светло-желтый осадок ацетиленида серебра, который затем становится серым.

**Химизм процесса:**



Ацетиленид серебра опасен в обращении и отфильтровывать его не следует.

#### Контрольные вопросы

1. Какие углеводороды называют алкинами?
2. Общая формула ацетиленовых углеводородов.
3. Какие виды изомерии возможны у алкинов?
4. Способы получения ацетилена и его гомологов.
5. Химические свойства ацетиленовых углеводородов.

## Лабораторная работа № 5 АРОМАТИЧЕСКИЕ УГЛЕВОДОРОДЫ

**Цель работы:** получить бензол, изучить его свойства, а так же свойства гомологов бензола. Сравнить химические свойства ароматических углеводородов со свойствами углеводородов жирного ряда.

### 1. Теоретическая часть

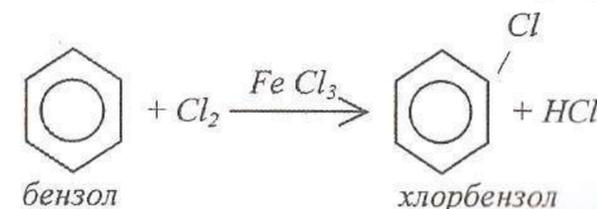
Ароматическими соединениями обычно называют карбоциклические соединения, в молекулах которых имеется особая циклическая группировка из шести углеродных атомов – бензольное ядро. Простейшим соединением, содержащим такую группировку, является углеводород бензол; все остальные ароматические соединения этого типа рассматривают как производные бензола.

Благодаря наличию в ароматических соединениях бензольного ядра они по некоторым свойствам значительно отличаются от предельных и непредельных алициклических соединений, а так же от соединений с открытой цепью. Отличительные свойства ароматических соединений, обусловленные наличием в них бензольного ядра, обычно называют ароматическими свойствами, а бензольное ядро – соответственно ароматическим ядром. Бензол ( $C_6H_6$ ), несмотря на то, что по составу он является ненасыщенным соединением, проявляет склонность преимущественно к реакциям замещения, и бензольное ядро очень устойчиво. В этом заключается свойство бензола, которое называют ароматическими свойствами. Последние характерны и для других ароматических соединений; однако различные заместители в бензольном ядре влияют на его устойчивость и реакционную способность; в свою очередь бензольное ядро оказывает влияние на реакционную способность соединенных с ним заместителей. Ароматические углеводороды вступают в реакции замещения, присоединения, окисления.

#### 1.1. Химические свойства

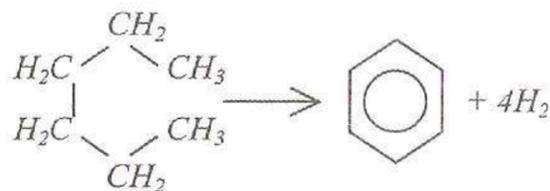
##### 1.1.1. Реакция замещения

**Галогенирование.** В обычных условиях ароматические углеводороды практически не реагируют с галогенами. Чистый бензол не обесцвечивает бромную воду, но в присутствии катализаторов хлор и бром энергично вступают в реакцию с бензолом при комнатной температуре.





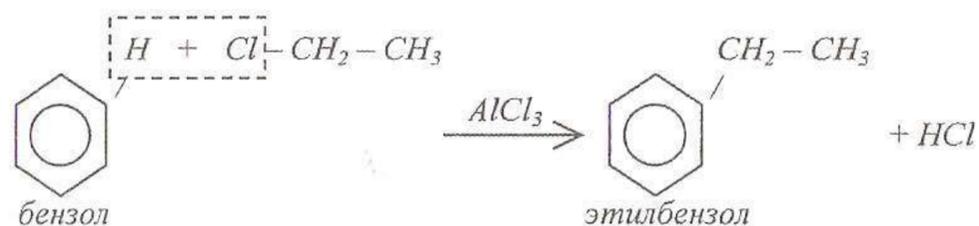
Из гомологов циклогексана таким путем могут быть получены гомологи бензола. При помощи специальных катализаторов ароматические углеводороды могут быть получены из предельных и непредельных углеводородов с открытой цепью. Процесс заключается в отщеплении водорода и замыкании цикла (реакция дегидроциклизации):



### 1.2.3. Синтез гомологов бензола алкилированием ароматических углеводородов

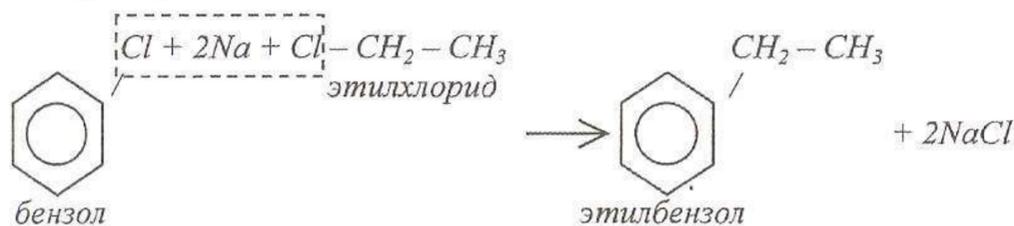
Алкилирование ароматических углеводородов имеет большое значение, так как при этом получают различные гомологи бензола. Алкилирование осуществляется различными методами. Например, при действии на бензол алкилхлоридов в присутствии безводного хлорида алюминия атомы водорода ядра замещаются радикалами и с выделением галогеноводорода образуются гомологи бензола (реакция Фриделя-Крафтса).

Например:



Другой способ синтеза гомологов бензола основан на действии металлического натрия на смесь алкилгалогенида с ароматическим галогенпроизводным (реакция Фиттига).

Например:



## 2. Экспериментальная часть

### 2.1. Проба на ароматическую структуру

В пробирку поместите 5 капель ароматического углеводорода, 4 капли хлороформа и внесите на кончике микролопатки безводный хло-

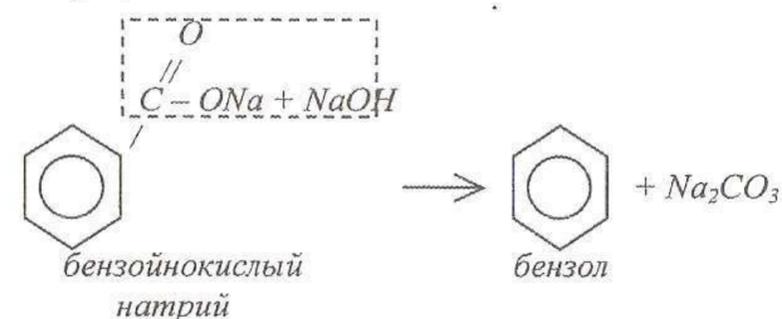
рид алюминия. Содержимое пробирки тщательно перемешайте. Постепенно появляется окраска самых разнообразных оттенков, при стоянии переходящая в коричневое окрашивание.

### 2.2. Получение бензола из бензоата натрия

В сухую пробирку поместите немного смеси из бензоата натрия и натронной извести (1:1). Пробирку закройте пробкой с газоотводной трубкой и закрепите в штативе горизонтально. Конец газоотводной трубки опустите в пробирку с водой, охлаждаемую льдом. Реакционную пробирку нагрейте. Чтобы бензол переходил в приемник, вначале нагрейте верхнюю часть пробирки, а затем уже реакционную смесь. Через некоторое время в приемнике на поверхности воды появляется маслянистое пятнышко бензола.

После того, как реакционная пробирка остынет, ее открывают. Ощущается характерный запах бензола.

Химизм процесса:



### 2.3. Свойства бензола

#### 2.3.1. Действие бромной воды на бензол

В пробирку поместите 3 капли бромной воды и 2 капли бензола. Содержимое пробирки энергично перемешайте и дайте отстояться. Нижний слой (бромная вода) обесцвечивается, а верхний слой (бензол) окрашивается в коричневато-желтый цвет. Бром легче растворяется в бензоле, чем в воде, и поэтому переходит в верхний бензольный слой. Присоединение брома в этих условиях не происходит.

#### 2.3.2. Действие перманганата калия

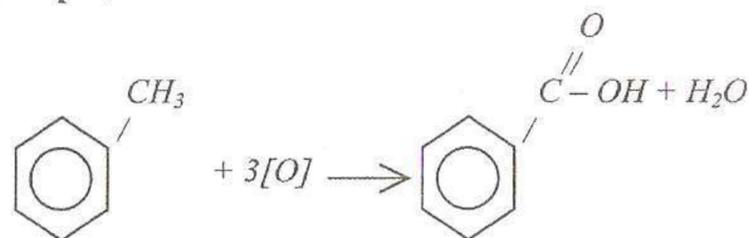
В пробирку поместите 3 капли воды, 1 каплю раствора перманганата калия и 1 каплю раствора серной кислоты. К полученному раствору добавьте 1 каплю бензола и встряхните содержимое пробирки. Розовый раствор перманганата калия при этом не обесцвечивается.

Одним из важнейших свойств бензола является его устойчивость к действию окислителей.

## 2.4. Окисление гомологов бензола

В пробирку поместите 3 капли воды, 1 каплю раствора перманганата калия и 1 каплю раствора серной кислоты. Затем добавьте 1 каплю толуола и энергично перемешайте. Розовая окраска постепенно исчезает и раствор обесцвечивается.

**Химизм процесса:**



Гомологи бензола окисляются значительно легче бензола.

## 2.5. Бромирование ароматических углеводородов

(Опыт проводят в вытяжном шкафу!)

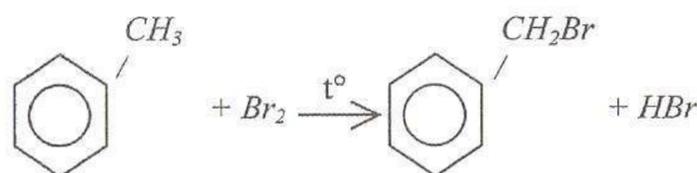
Для проведения опыта возьмите две пробирки. В одну пробирку поместите 2 капли бензола, в другую – 2 капли толуола. В обе пробирки прилейте по одной капле раствора брома и встряхните в течение 1-2 мин.

Признаком идущей реакции является выделение бромистого водорода, дымящего на воздухе, и обесцвечивание брома.

В пробирке с бензолом реакция бромирования не обнаруживается. Тoluол в этих условиях бромруется медленно, но вполне отчетливо.

Содержимое обеих пробирок нагрейте до кипения. Тoluол при этом бромруется очень легко, а бензол не бромруется даже при кипячении.

**Химизм процесса:**



Действие хлора и брома на ароматические соединения в условиях радикальной реакции (нагревание, освещение) приводит к замещению водорода в боковой цепи.

### Контрольные вопросы

1. Какие углеводороды называются ароматическими?
2. Бензол и его строение.
3. Изомерия ароматических углеводородов ряда бензола.
4. Способы получения бензола и его гомологов.
5. Химические свойства ароматических углеводородов.
6. В чем сходство и отличие ароматических углеводородов от предельных и непредельных углеводородов?

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

### Основная литература

1. Писаренко А.П., Хавин З.Я. Курс органической химии. – М.: Высшая школа, 1975, 1985.
2. Потапов В.М., Татаринчик С.И. Органическая химия. – М.: Химия, 1976.
3. Грандберг И.И. Органическая химия. – М.: Дрофа, 2001.
4. Иванов В.Г., Гева О.Н., Гаверова Ю.Г. Практикум по органической химии. – М.: АCADEМА, 2000.

### Дополнительная литература

1. Некрасов В.В. Руководство к малому практикуму по органической химии. – М.: Химия, 1975.
2. Левитина Т.П. Справочник по органической химии: Учебное пособие. – СПб.: Паритет, 2002.

Министерство образования Российской Федерации

Владивостокский государственный университет  
экономики и сервиса

---

А.Н. САВЕРЧЕНКО

**КИСЛОРОДСОДЕРЖАЩИЕ  
ОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ**

Лабораторный практикум  
по химии

Часть 2

Владивосток  
Издательство ВГУЭС  
2020

ББК 24  
С 12

Рецензенты: Каминский В.А., д-р хим.  
наук, профессор (ДВГУ);  
Гамов В.А. канд. хим.наук,  
доцент (ВГУЭС)

Саверченко А.Н.

С 12 КИСЛОРОДСОДЕРЖАЩИЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ: Лабораторный практикум по химии. Часть 2. – Владивосток: Изд-во ВГУЭС, 2020. – 32 с.

В практикуме приведены лабораторные работы по курсу химия (раздел II) для студентов нехимических специальностей. Методические указания состоят из двух частей: теоретической и экспериментальной.

Изучение теоретического материала способствует усвоению данной темы, что позволяет грамотно выполнить эксперимент. Методика выполнения опытов подробно описана в экспериментальной части. С целью закрепления изученного материала приводятся контрольные вопросы.

Для студентов I курса специальностей: 013100 – экология, 280900 – конструирование швейных изделий, 351100 – товароведение и экспертиза товаров, 280800 – технология швейных изделий.

ББК 24

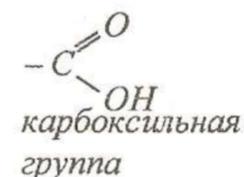
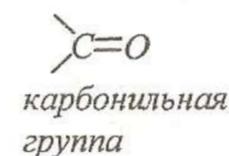
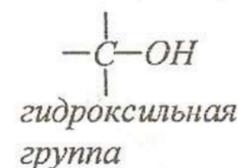
Печатается по решению РИСО ЕГУЭС

© Издательство Владивостокского  
государственного университета  
экономики и сервиса, 2020

## КИСЛОРОДСОДЕРЖАЩИЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ

К кислородсодержащим органическим соединениям относят многочисленные органические соединения, как природного происхождения, так и синтетические, являющиеся производными углеводородов, в молекулах которых содержатся углеродные атомы, непосредственно связанные с кислородом.

В органических кислородсодержащих веществах кислород в соединении с углеродом образует различные группы, в которых углерод затрачивает на соединения с атомами кислорода одну, две или три валентные связи:



Остальные валентности углерода могут участвовать в образовании связи либо с углеродными атомами, либо с атомами водорода или других элементов.

Таким образом, приведённые кислородсодержащие группы, можно представить как различные стадии окисления углеродных атомов в органических молекулах; эти группы связаны между собой так же, как и соединения, в состав которых они входят, взаимными окислительно-восстановительными превращениями. Гидроксильная группа содержится в спиртах, карбонильная – в альдегидах и кетонах, карбоксильная – в карбоновых кислотах.

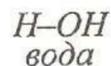
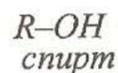
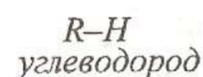
# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

## Спирты и их производные

**Цель работы:** познакомиться со свойствами спиртов, изучить способы получения простых и сложных эфиров.

### 1. Теоретическая часть

Производные углеводородов, представляющие собой продукты замещения атома водорода в углеводородной молекуле водным остатком, т.е. гидроксильной группой —  $OH$ , называют спиртами. Эти вещества можно рассматривать и как производные воды, в молекуле которой один атом водорода замещён углеводородным радикалом  $R$ . Это можно представить схемой:

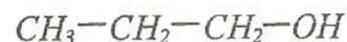


Спирты могут содержать и несколько гидроксильных групп но при разных атомах углерода. Число их характеризует атомность спирта. В соответствии с этим спирты бывают одноатомные и многоатомные; последние подразделяются на двухатомные, трёхатомные и т.д. спирты.

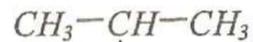
#### 1.1. Строение. Изомерия

Изомерия предельных одноатомных спиртов, общая формула которых  $C_nH_{2n+1}OH$ , обусловлена изомерией углеродного скелета и изомерией положения гидроксильной группы.

Спирту состава  $C_3H_7OH$  соответствует два изомера по положению гидроксильной группы:



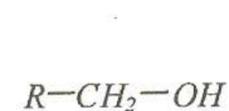
пропиловый спирт  
(первичный)



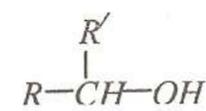
вторичный пропиловый спирт (изопропиловый)

Из бутана и изобутана могут быть произведены четыре изомерных бутиловых спирта.

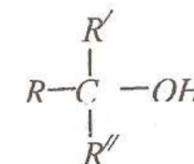
В зависимости от положения гидроксильной группы при первичном, вторичном и третичном углеродном атоме спирты могут быть первичными, вторичными и третичными:



первичный спирт



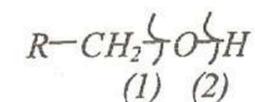
вторичный спирт



третичный спирт

### 1.2. Химические свойства

Химические свойства спиртов обусловлены наличием гидроксильной группы. В разнообразных химических превращениях спиртов особая роль принадлежит двум типам реакций:

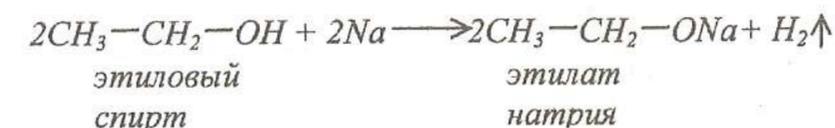
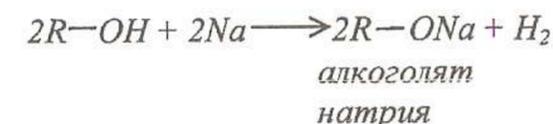


разрыву связи между атомами  $C$  и  $O$  (1),  $O$  и  $H$  (2).

Положение гидроксильной группы существенно влияет на её поведение в этих превращениях.

#### 1.2.1. Кислотные свойства спиртов

Атомы водорода гидроксильных групп в спиртах проявляют определённую подвижность. Подобно воде, спирты реагируют со щелочными металлами, которые замещают водород спиртовых гидроксильных групп; при этом образуются алкоголяты и выделяется водород:



По мере увеличения числа углеродных атомов в углеводородных радикалах спиртов активность последних в этой реакции всё более уменьшается.

Высшие спирты реагируют с натрием лишь при нагревании. Первичные спирты значительно активнее в реакциях со щелочными металлами, чем изомерные им вторичные и особенно третичные.

В реакции со щелочными металлами спирты проявляют свойства кислот; но в результате влияния, оказываемого на гидроксильную группу алкильным радикалом, спирты — ещё более слабые кислоты, чем вода. Прак-

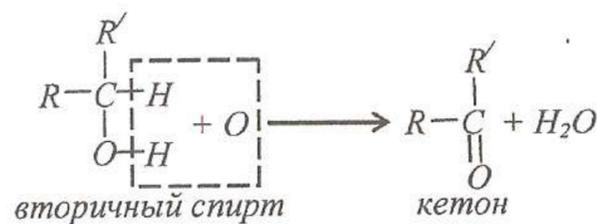
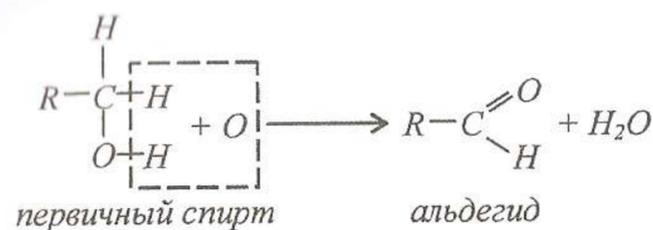
тически спирты – нейтральные вещества: они не показывают ни кислой, ни щелочной реакции на лакмус, не проводят электрический ток.

### 1.2.2. Окисление спиртов

Кислород воздуха окисляет спирты только при высокой температуре; при этом они горят. В результате происходит полное разрушение молекул с образованием оксида углерода(IV) и воды.

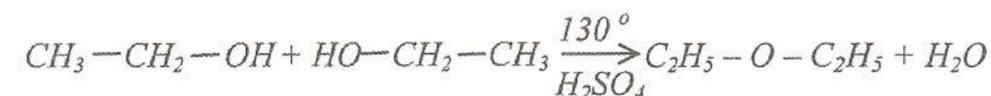
Возможно и умеренное окисление спиртов: при этом они окисляются легче, чем соответствующие предельные углеводороды. Углеводороды на холоду не взаимодействуют с раствором перманганата калия или хромовой смесью, спирты же окисляются ими. Внешне реакция проявляется в том, что в случае перманганата калия ( $KMnO_4$ ) исчезает его фиолетовая окраска, а в случае хромовой смеси ( $K_2Cr_2O_7 + H_2SO_4$ ) её оранжевый цвет переходит в зеленый.

Большая склонность спиртов к окислению по сравнению с углеводородами объясняется влиянием имеющейся в их молекулах гидроксильной группы. Молекулы спиртов содержат углеродные атомы, как бы уже подвергшиеся окислению, т.е. связанные с кислородом гидроксида, и поэтому действие окислителя прежде всего направляется на спиртовую группу. При этом окислению легче подвергаются спирты, в которых при углероде спиртовой группы имеется водород, – первичные и вторичные. При окислении первичных спиртов образуются альдегиды, вторичных – кетоны, окисление третичных спиртов сопровождается разрывом углеродной цепи.

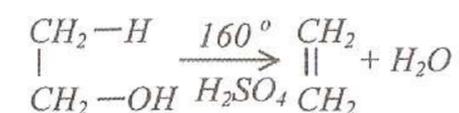


### 1.2.3. Дегидратация спиртов

Дегидратация (отнятие воды от молекулы спирта) приводит к образованию этиленовых углеводородов или простых эфиров. При избытке спирта дегидратация протекает межмолекулярно, что приводит к образованию простого эфира:

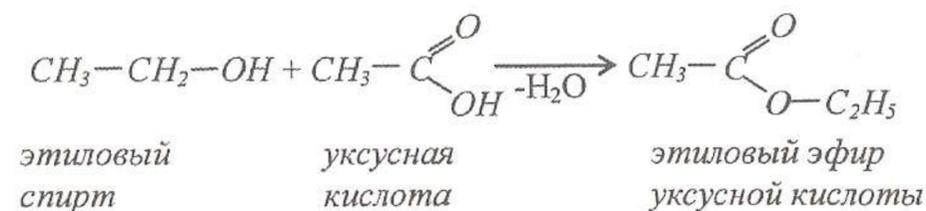


Внутримолекулярная дегидратация, т.е. за счёт одной молекулы спирта, приводит к образованию этиленового углеводорода:



### 1.2.4. Образование сложных эфиров

Взаимодействие спиртов с кислотами (органическими и неорганическими) приводит к образованию производных кислот, называемых сложными эфирами:



Эта реакция называется реакцией этерификации.

## 1.3. Экспериментальная часть

### 1.3.1. Влияние радикала и количества гидроксильных групп на растворимость спиртов

В четыре пробирки налейте по 2мл воды, подкрашенной  $KMnO_4$ , и добавьте по 0,5 мл следующих спиртов: этилового, пропилового, амиллового и глицерина. Содержимое пробирок энергично перемешайте. Что наблюдаете?

Увеличение радикала (углеводородной части молекулы) понижает растворимость спиртов в воде, увеличение числа гидроксильных групп увеличивает растворимость их в воде.

### 1.3.2. Обнаружение присутствия в спирте воды и обезвоживание спиртов

В сухую микропробирку поместите немного порошка безводного сульфата меди и добавьте 8–10 капель этилового спирта. Смесь встряхните и слегка нагрейте. Белый порошок окрашивается в голубой цвет, что указывает на присутствие в спирте воды. Безводный сульфат меди, связывая воду, переходит в синий кристаллогидрат  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ .

Обезвоженный спирт сохраните для проведения следующего опыта.

### 1.3.3. Получение и гидролиз алкоголятов

Полученный в опыте 1.3.2. обезвоженный спирт осторожно слейте с осадка в сухую пробирку и погрузите в него кусочек натрия величиной с небольшую горошину, охлаждая пробирку с реакционной смесью в стакане с водой, предотвращая кипение спирта в результате экзотермической реакции. По окончании реакции на дне пробирки останется беловатый осадок этилата натрия. Полученный этилат натрия растворите в 2–3 мл дистиллированной воды, добавьте 1 каплю фенолфталеина. Появляется малиновое окрашивание.

Химизм процесса:



Алкоголяты подобны солям очень слабых кислот и при действии воды гидролизуются с образованием спирта и щёлочи.

Химизм процесса:

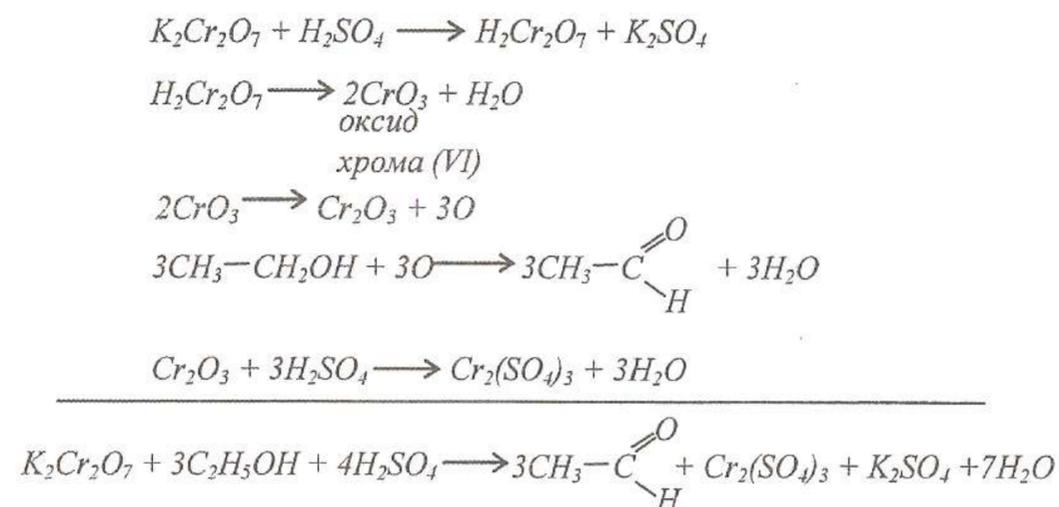


В реакции со щелочными металлами спирты проявляют свойства кислот; но в результате влияния, оказываемого на гидроксильную группу алкильным радикалом, спирты – ещё более слабые кислоты, чем вода.

### 1.3.4. Окисление этилового спирта хромовой смесью

В сухую пробирку поместите две капли этилового спирта, добавьте одну каплю серной кислоты и 2 капли раствора бихромата калия и осторожно нагрейте. При этом наблюдается изменение окраски раствора от оранжевой до синевато-зелёной. Одновременно ощущается запах уксусного альдегида.

Химизм процесса:



Для подтверждения образования уксусного альдегида проведите цветную реакцию с фуксинсернистой кислотой.

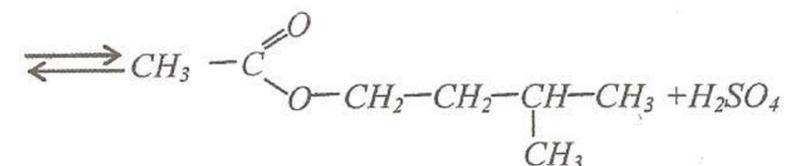
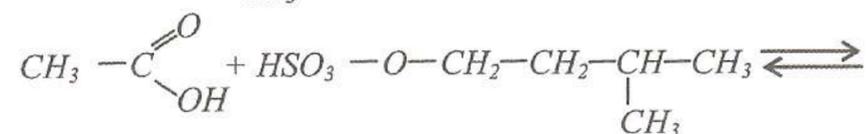
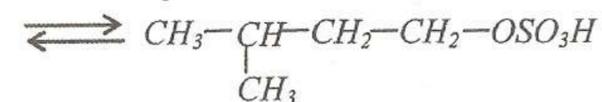
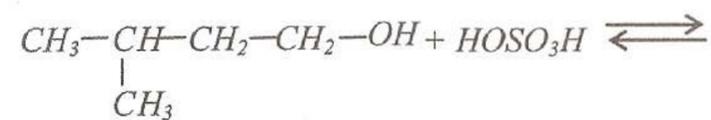
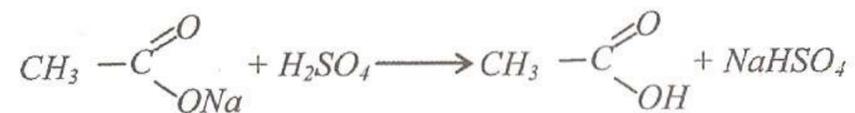
В пробирку поместите 3 капли раствора фуксинсернистой кислоты и пипеткой внесите одну каплю полученного раствора. Появляется розово-фиолетовая окраска (цветная реакция на альдегид).

Спирты окисляются легче, чем соответствующие им углеводороды, что объясняется влиянием имеющейся в их молекуле гидроксильной группы.

### 1.3.5. Получение уксусноизоамилового эфира

В сухую пробирку поместите немного (высота слоя должна быть около 2 мм) порошка обезвоженного ацетата натрия и три капли изоамилового спирта. Добавьте 2 капли концентрированной серной кислоты и осторожно нагрейте содержимое пробирки при встряхивании над пламенем спиртовки. Через некоторое время жидкость бурлит и ощущается характерный запах уксусноизоамилового эфира (запах грушевой эссенции).

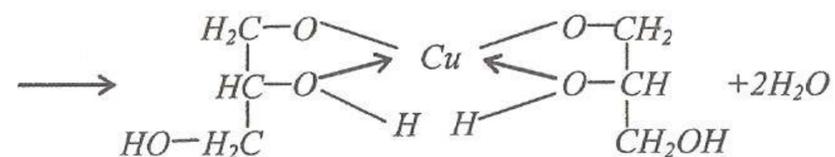
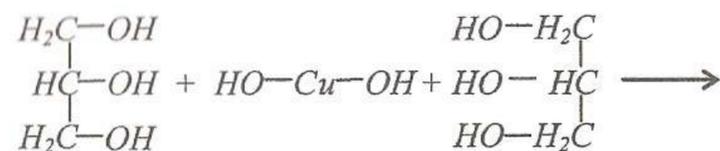
Химизм процесса:



1.3.6. Взаимодействие глицерина с гидроксидом меди (II)

Поместите в пробирку две капли раствора сульфата меди, 2 капли раствора гидроксида натрия и перемешайте. Образуется голубой студенистый осадок гидроксида меди (II). В пробирку добавьте 1 каплю глицерина и взбалтайте содержимое. Осадок растворяется и появляется тёмно – синее окрашивание вследствие образования глицерата меди.

Химизм процесса:



Глицерин – трёхатомный спирт. Кислотность его больше, чем одноатомных спиртов. Увеличения числа гидроксильных групп усиливает кислотный характер.

Контрольные вопросы

1. Какие соединения называются спиртами? Какова их общая формула?
2. Чем определяется атомность спиртов?
3. Какие спирты называются первичными, вторичными, третичными?
4. Химические свойства и способы получения спиртов.
5. Какие вещества называются простыми и сложными эфирами?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

### Фенолы

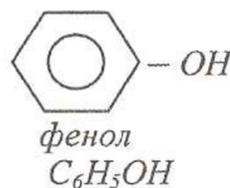
**Цель работы:** изучить свойства фенолов и сравнить их со свойствами спиртов.

#### 1. Теоретическая часть

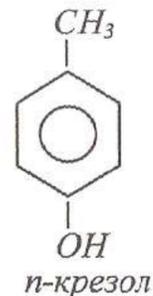
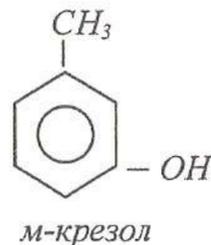
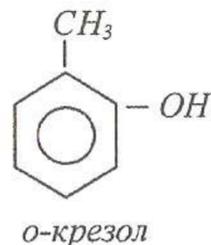
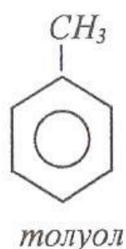
Фенолами называют производные ароматических углеводородов, в которых один или несколько атомов водорода бензольного ядра замещены гидроксильной группой ( $-OH$ ).

##### 1.1. Строение. Изомерия

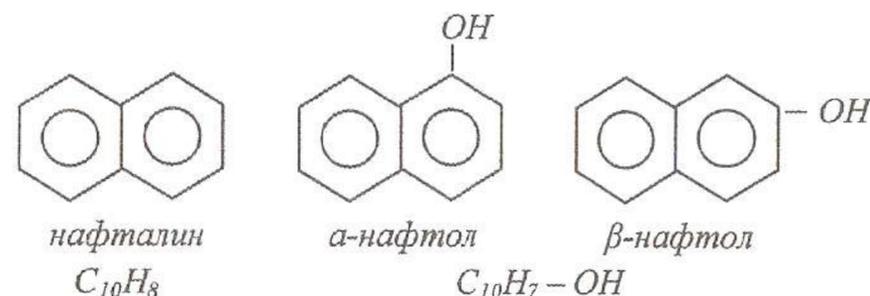
Простейший представитель класса фенолов является производным бензола; его называют просто фенолом или карболовой кислотой.



Толуолу отвечают три изомерных фенола, различных по положению гидроксильной группы в ядре; они называются орто-, мета- и пара-крезолами:



К фенолам относятся также гидроксильные производные нафталина – их называют нафтолами. В соответствии с особенностями строения нафталина они существуют в виде двух изомеров –  $\alpha$  и  $\beta$  – нафтола:



Фенол, крезолы,  $\alpha$ - и  $\beta$ -нафтолы содержат по одной гидроксильной группе, их по этому называют одноатомными фенолами. Фенолы с несколькими гидроксильными группами в бензольном ядре называются многоатомными; они могут быть двухатомными, трёхатомными и т.д.

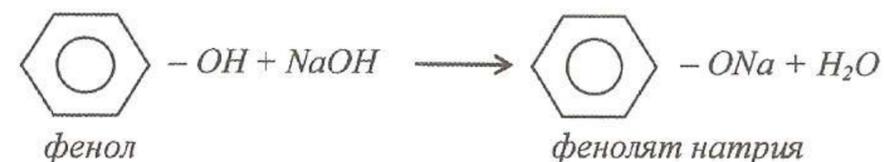
По строению фенолы аналогичны спиртам. Строение спиртов выражается общей формулой  $R-OH$ ; подобно этому строение фенолов можно представить формулой  $Ar-OH$ , где  $Ar$  – ароматический радикал.

##### 1.2. Химические свойства

Как спирты, так и фенолы содержат гидроксильную группу – остаток воды и образуют ряд аналогичных производных. Однако в фенолах эта группа под влиянием непосредственно связанного с ней ароматического ядра приобретает свойства, значительно отличающие фенолы от спиртов. В свою очередь гидроксильная группа существенно влияет на свойства ядра. Итак, реакции фенолов: а) за счёт гидроксильной группы и б) за счёт бензольного ядра.

###### 1.2.1. Реакции за счёт гидроксильной группы

**Образование фенолятов.** Фенолы реагируют со щелочами, образуя с выделением воды феноляты – производные, в которых водород фенольного гидроксильного замещён на металл:



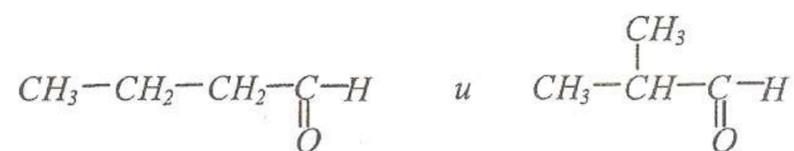
Феноляты являются аналогами алколюлятов спиртов. Алколюляты нацело гидролизуются водой, тогда как феноляты более устойчивы к гидролизу. В фенолах, благодаря влиянию ароматического ядра, водород гидроксильной подвижнее, чем в спиртах, и они обладают большими, чем спирты, кислотными свойствами. Однако фенолы – очень слабые кислоты.

**Образование сложных эфиров.** При замещении водорода в их гидроксильной группе кислотными остатками фенолы, как и спирты, обра-





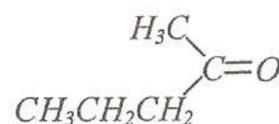
Все другие альдегиды имеют строение, соответствующее приведённой выше формуле. Так как альдегидная группа образована только первичным углеродным атомом, поэтому она всегда расположена на конце углеродной цепи молекулы альдегида. Для альдегидов возможна изомерия углеродного скелета. Например,



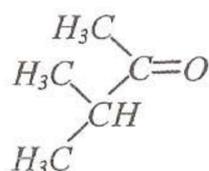
масляный альдегид

изомасляный альдегид

Изомерия кетонов обусловлена, с одной стороны изомерией углеродного скелета, с другой — изомерией положения карбонильной (кето-) группы в углеродной цепи молекулы. Например, изомерия углеродного скелета:

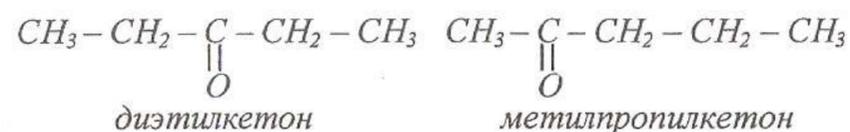


метилпропилкетон



метилизопропилкетон

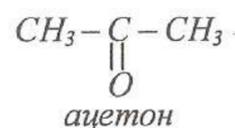
Изомерия положения кетогруппы:



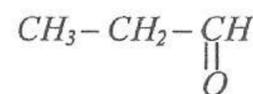
диэтилкетон

метилпропилкетон

Альдегиды и кетоны с одинаковым числом углеродных атомов изомерны друг другу по положению карбонильной группы. Например, ацетон и пропиловый альдегид имеют одинаковый состав ( $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ ) и являются изомерами:



ацетон



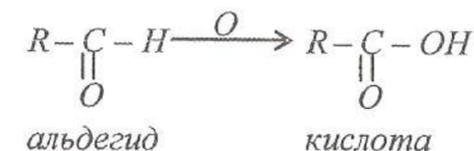
пропиловый альдегид

## 1.2. Химические свойства

Благодаря наличию в молекулах альдегидов и кетонов карбонильной группы эти соединения очень активны в химических реакциях. При этом альдегиды гораздо более реакционноспособны, чем кетоны. Основные группы реакций альдегидов и кетонов: а) реакции окисления, б) реакции присоединения по месту двойной связи карбонильной группы, в) реакции замещения карбонильного кислорода, г) реакции за счёт углеводородного радикала и д) межмолекулярные реакции.

### 1.2.1. Реакции окисления

Альдегиды и кетоны различно относятся к действию окислителей. Альдегиды окисляются очень легко; это обусловлено тем, что в их молекулах при уже окисленном углеродном атоме карбонильной группы имеется водород, который под действием различных окислителей окисляется, образуя группу  $-\text{OH}$ . Таким образом, альдегидная группа превращается в карбоксильную, и альдегиды, следовательно окисляются в карбоновые кислоты с таким же, как и в исходном альдегиде, числом углеродных атомов:



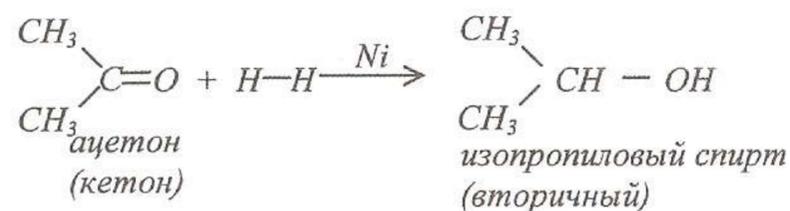
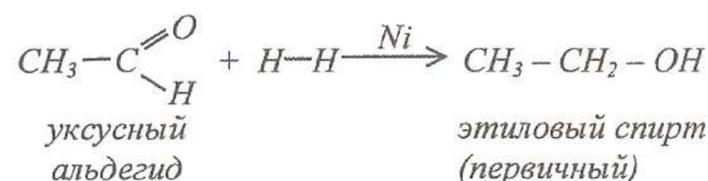
Кетоны окисляются значительно труднее; в их молекулах при уже окисленном углероде карбонильной группы нет водорода, и в этом отношении кетоны не окисляются слабыми окислителями.

Различное отношение к действию слабых окислителей используют для качественного открытия альдегидов в отличие от кетонов.

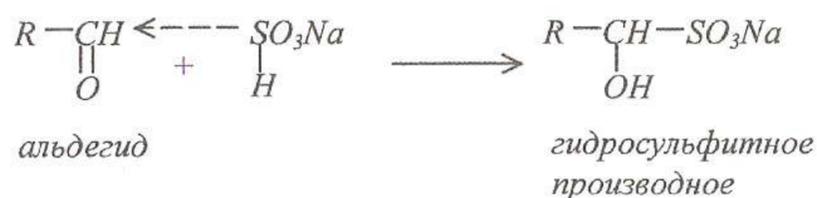
### 1.2.2. Реакции присоединения к карбонильной группе

За счёт двойной связи карбонильной группы альдегиды и кетоны вступают в различные реакции присоединения. И в этом случае альдегиды обычно более активны, чем кетоны.

Восстановление альдегидов и кетонов (присоединение водорода). Водород в момент выделения присоединяется к карбонильной группе альдегидов и кетонов. Альдегиды восстанавливаются в первичные, а кетоны — во вторичные спирты. Например:



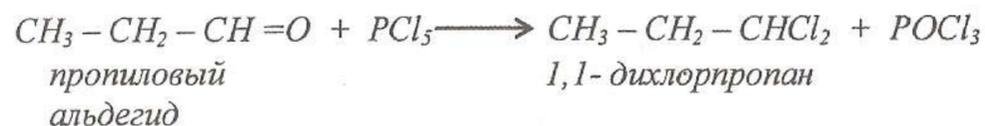
*Гидросульфитная реакция.* Альдегиды присоединяют гидросульфит натрия  $\text{NaHSO}_3$ , образуя кристаллические гидросульфитные производные:



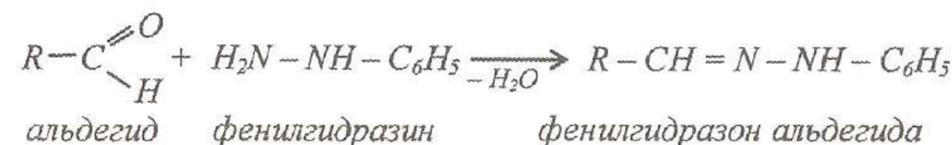
Кетоны также дают эту реакцию: но не все, а преимущественно лишь те, у которых при карбонильной группе есть хотя бы одна метильная группа. Реакцию с гидросульфитом применяют для выделения альдегидов и кетонов из различных смесей.

### 1.2.3. Реакции замещения кислорода карбонильной группы

*Замещение кислорода галогеном.* При действии хлорида ( $\text{PCl}_5$ ) или бромиды ( $\text{PBr}_3$ ) фосфора (V) на альдегиды или кетоны кислород карбонильной группы замещается атомами галогена. Например:



*Реакция с фенилгидразином.* Альдегиды и кетоны взаимодействуют с фенилгидразином ( $\text{NH}_2-\text{NH}-\text{C}_6\text{H}_5$ ); при этом выделяется вода и образуются фенилгидразоны альдегидов или кетонов:

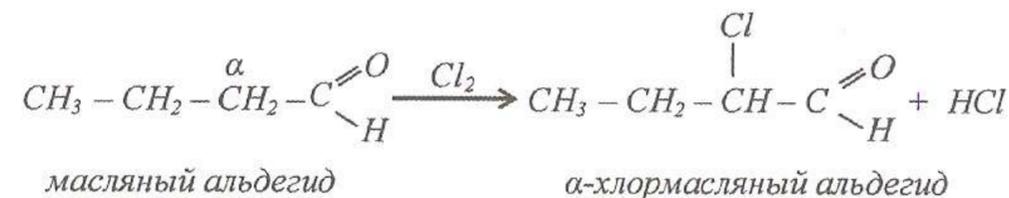


Фенилгидразоны – кристаллические вещества, их применяют при выделении и идентификации альдегидов и кетонов.

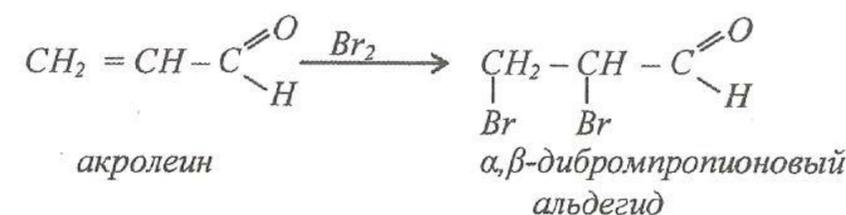
### 1.2.4. Реакции, в которых участвуют углеводородные радикалы альдегидов и кетонов

Альдегиды и кетоны вступают в реакцию не только при участии их карбонильной группы, но и за счёт связанных с ней углеводородных радикалов. Карбонильная группа оказывает определённое влияние на течение этих реакций. В предельных альдегидах и кетонах под влиянием карбонильной группы особую подвижность приобретают атомы водорода при углеродных атомах, соседних с этой группой, или как говорят иначе, в  $\alpha$ -положении к карбонильной группе; они легко подвергаются замещению.

*Замещение водорода в радикале на галоген.* Водородные атомы в радикалах альдегидов и кетонов замещаются на галоген легче, чем в предельных углеводородах. Галоген замещает подвижные атомы водорода в  $\alpha$ -положении к карбонильной группе. Например:



*Реакции на двойную связь для непредельных альдегидов и кетонов.* Подобно этиленовым углеводородам непредельные альдегиды и кетоны дают характерные реакции на этиленовую двойную связь. Они обесцвечивают раствор брома. Например:

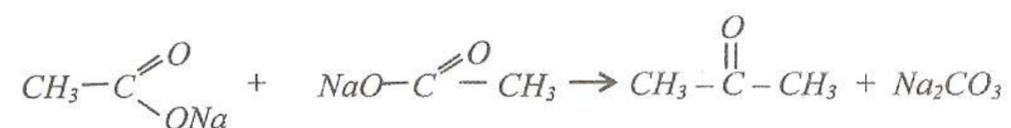


## 2. Экспериментальная часть

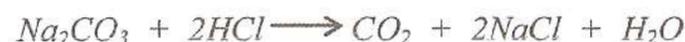
### 2.1. Получение ацетона из ацетата натрия

В сухую пробирку поместите около 0,1 г обезвоженного ацетата натрия (высота слоя должна быть около 3 мм). Закройте пробирку пробкой с газоотводной трубкой, нижний конец, которой опустите в пробирку с 6–8 каплями воды. Держа пробирку с ацетатом натрия в горизонтальном положении, нагрейте её на спиртовке. Пары ацетона конденсируются в воде, находящейся в пробирке – приемнике.

Химизм процесса:



После остывания первой пробирки добавьте в неё 1 каплю концентрированной соляной кислоты. Происходит сильное вспенивание вследствие выделения оксида углерода(IV).



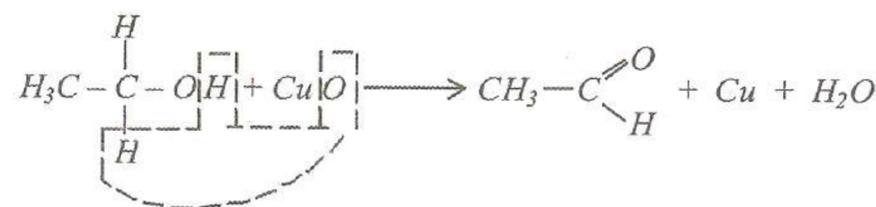
### 2.2. Образование уксусного альдегида из этилового спирта при отщеплении водорода (дегидрирования)

Поместите в сухую пробирку 3 мл этилового спирта и 2 мл воды. Затем в пламени спиртовки прокалите свёрнутую медную проволочку, при этом медь чернеет. Горячую медную проволоку быстро поместите в пробирку со спиртом и тотчас же неплотно закройте пробкой. Спирт бурно вскипает, появляется характерный запах уксусного альдегида, а медная проволока становится ярко – красной.

Когда бурное кипение спирта прекратится, вставьте пробку плотнее и охладите пробирку в стакане с холодной водой. После охлаждения перелейте содержимое пробирки в другую пробирку и добавьте к ней примерно равный объём воды, которой предварительно ополосните медную проволоку в первой пробирке.

При прокаливании на воздухе поверхность медной проволоки частично окисляется. Образующийся в виде очень тонкой плёнки оксид меди в горячем состоянии легко восстанавливается спиртом до ярко – красной металлической меди.

Химизм процесса:



Полученный водно-спиртовый раствор уксусного альдегида сохраните для опыта 2.3.

### 2.3. Цветная реакция на альдегиды с фуксинсернистой кислотой

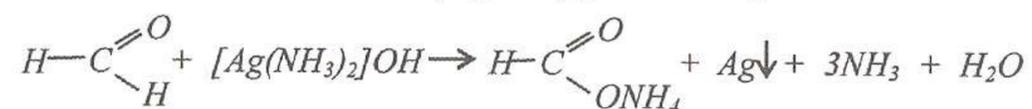
В две пробирки поместите раствор фуксинсернистой кислоты и добавьте в одну из них 2 капли раствора формальдегида, а в другую – 2 капли уксусного альдегида, полученного в опыте 2.2.

Раствор фуксинсернистой кислоты при добавлении раствора формальдегида постепенно окрашивается в фиолетовый цвет, при добавлении уксусного альдегида – в розово – фиолетовый цвет. Эта реакция является качественной реакцией на альдегиды.

### 2.4. Отношение альдегидов и кетонов к слабым окислителям

В пробирку поместите 2 капли раствора нитрата серебра и добавьте 1 каплю раствора аммиака. Образующийся бурый осадок гидроксида серебра растворите в избытке аммиака. Затем прибавьте 1 каплю раствора формальдегида и медленно подогрейте содержимое пробирки на спиртовке. Что наблюдаете?

Химизм процесса:

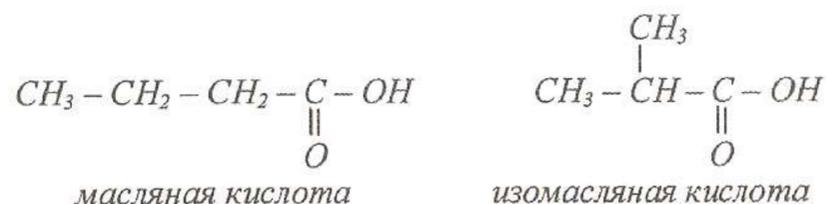


Эта реакция является качественной реакцией на альдегиды. Опыт повторите с ацетоном. Что наблюдаете? Сделайте вывод об отношении альдегидов и кетонов к слабым окислителям.



Общая формула предельных одноосновных кислот  $C_nH_{2n+1}COOH$ .

Для одноосновных кислот возможна только изомерия углеродного скелета. Так, состав  $C_3H_7COOH$  имеют две изомерные по углеродному скелету кислоты, которые называют масляными кислотами:



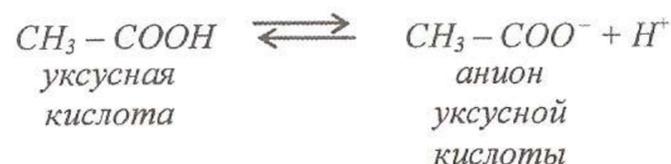
### 1.1.2. Химические свойства

Химические свойства карбоновых кислот определяются свойствами карбоксильной группы и связанного с ней углеводородного радикала, а также их взаимным влиянием.

Основные группы реакций: а) обусловленные подвижностью атома водорода в карбоксиле; б) основанные на способности гидроксильной группы карбоксила замещаться различными атомами или группами; в) за счёт связанного с карбоксилем углеводородного радикала.

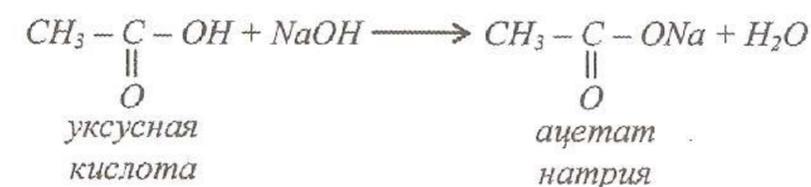
#### 1.1.2.1. Подвижность водорода карбоксильной группы

Карбоновые кислоты в водных растворах диссоциируют, образуя катионы водорода и анионы кислот (карбоксилатанионы).



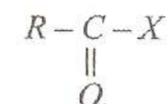
Поэтому растворимые в воде карбоновые кислоты окрашивают лакмус в красный цвет, проводят электрический ток, имеют кислый вкус, т.е. являются электролитами и проявляют кислотные свойства.

**Образование солей.** При взаимодействии с основаниями, с оксидами или с активными металлами водород карбоксильной группы кислоты замещается на металл и образуются соли карбоновых кислот.

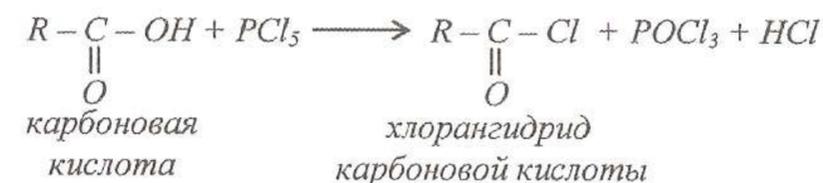


#### 1.1.2.2. Реакции замещения гидроксила в карбоксиле

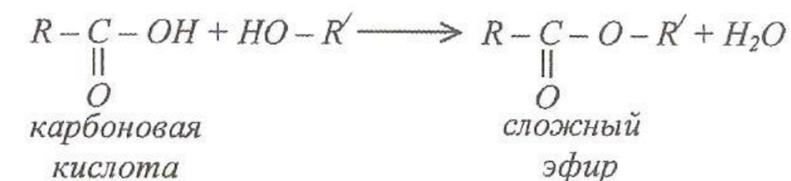
Гидроксильная группа в карбоксиле кислот может быть замещена атомами или группами (X); образующиеся при этом соединения называют производными карбоновых кислот; строение их можно представить общей формулой



**Образование галогенангидридов карбоновых кислот.** Гидроксил карбоксильной группы может быть замещён галогеном.

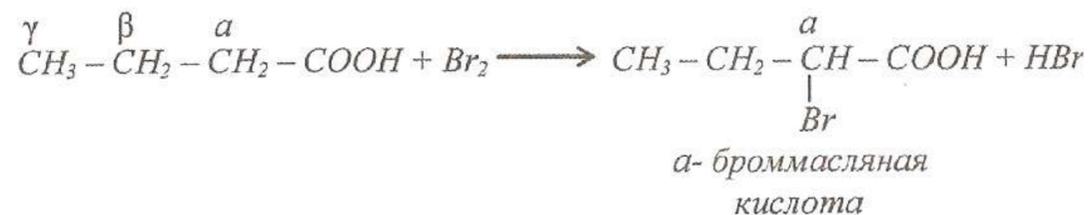


**Образование сложных эфиров.** Сложными эфирами называют производные карбоновых кислот, образовавшиеся в результате замещения гидроксильной группы в карбоксиле кислоты на остаток спирта  $-OR$ .



#### 1.1.2.3. Реакции за счёт углеводородного радикала

Галогены могут замещать водород в углеводородных радикалах кислот, образуя галогенкарбоновые кислоты; при этом под влиянием карбоксильной группы наиболее легко замещаются атомы водорода в  $\alpha$ -положении к этой группе, т.е. при соседнем с карбоксилем углеродном атоме:



## 2. Экспериментальная часть

### Опыт 2.1. Растворимость в воде различных кислот

Три капли или несколько кристаллов каждой из исследуемых кислот взбалтайте в пробирке с 5 каплями воды. Если кислота не растворяется, пробирку нагрейте. Горячие растворы охладите и отметьте выделение кристаллов кислот, растворившихся лишь при нагревании.

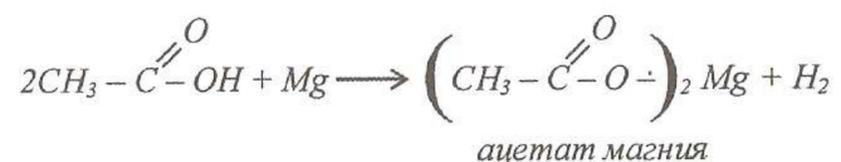
Для всех параллельных проб берите равные количества кислоты и растворителя.

### Опыт 2.2. Кислотные свойства карбоновых кислот

**2.2.1.** В три пробирки поместите по 1 капле раствора уксусной кислоты. В первую пробирку добавьте 1 каплю метилового оранжевого, во вторую – каплю лакмуса и в третью – каплю фенолфталеина. В пробирке с метиловым оранжевым появляется красное окрашивание, в пробирке с лакмусом – розовое. Фенолфталеин остаётся бесцветным.

**2.2.2.** В пробирку поместите 2 капли раствора уксусной кислоты и добавьте немного магния. К отверстию пробирки поднесите горящую лучинку. Наблюдается вспышка, сопровождающаяся резким звуком, характерным для вспышки смеси водорода и воздуха.

Химизм процесса:



**2.2.3.** В пробирку налейте 2–3 капли раствора уксусной кислоты и добавьте несколько крупинок карбоната натрия. К отверстию пробирки поднесите горящую лучинку. Лучинка гаснет.

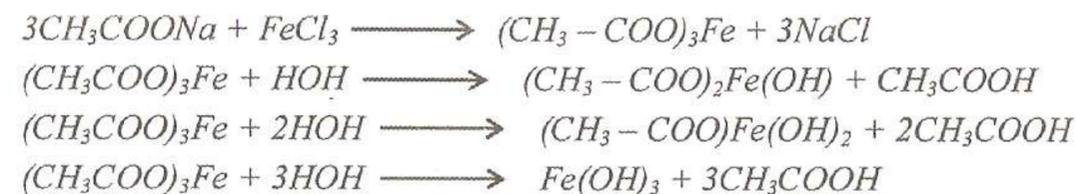
Химизм процесса:



### 2.3. Образование и гидролиз ацетата железа

В пробирку поместите несколько кристалликов ацетата натрия, 3 капли воды и 2 капли раствора хлорида железа (III). Раствор окрасится в желтовато-красный цвет, в результате образования железной соли уксусной кислоты. Раствор нагрейте до кипения. Тотчас же выпадают хлопья основных солей красно-бурого цвета.

Химизм процесса:

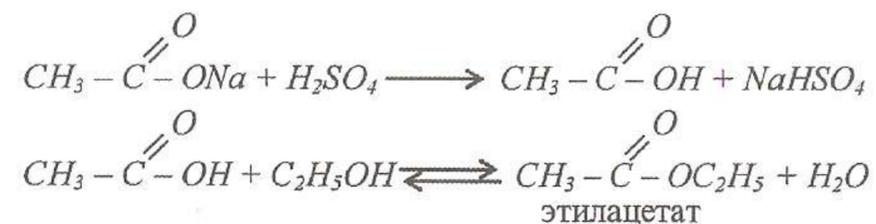


Уксусная кислота, как и большинство карбоновых кислот, – слабая кислота. Поэтому её соли легко гидролизуются с образованием основных солей и продуктов полного гидролиза.

### 2.4. Получение этилацетата

В сухую пробирку поместите немного порошка обезвоженного ацетата натрия (высота слоя должна быть 1–1,5 мм) и 3 капли этилового спирта. Добавьте 2 капли концентрированной серной кислоты и осторожно нагрейте над пламенем горелки. Появится характерный запах этилацетата.

Химизм процесса:

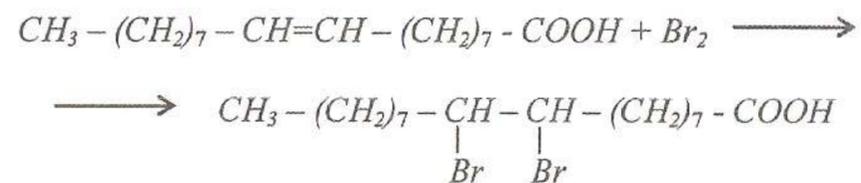


Важнейший способ получения сложных эфиров – взаимодействие карбоновых кислот со спиртами (реакция этерификации). В качестве катализаторов обычно применяют концентрированную серную кислоту.

## 2.5. Присоединение брома к олеиновой кислоте

В пробирку поместите 3–4 капли бромной воды, одну каплю олеиновой кислоты, энергично взбалтайте. Бромная вода обесцвечивается.

Химизм процесса:



### Контрольные вопросы

1. Какая группа называется карбоксильной?
2. Чем определяется основность карбоновых кислот?
3. Какие типы реакций характерны для карбоновых кислот? Приведите примеры.
4. Напишите структурные формулы изомерных кислот состава  $\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_4$  и назовите их.
5. Напишите структурные формулы следующих соединений:  
а) 2,2 – диметилпропановая кислота; б) 2,4 – диметилпентановая кислота; в) 2 – метил – 2 – пропеновая кислота.

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

### Основная литература

- Грандберг И.И. Органическая химия. – М.: Дрофа, 2001.  
Иванов В.Г., Гева О.Н., Гаверова Ю.Г. Практикум по органической химии. – М.: АСАДЕМА, 2000.  
Писаренко А.П., Хавин З.Я. Курс органической химии. – М.: Высшая школа, 1975, 1985.  
Потапов В.М., Татаринчик С.И. Органическая химия. М.: – Химия, 1976.

### Дополнительная литература

- Левитина Т.П. Справочник по органической химии: Учебное пособие. – СПб.: Паритет, 2002.  
Некрасов В.В. Руководство к малому практикуму по органической химии. – М.: Химия, 1975.

## Лабораторная работа 1 – Осмотические явления в растительной клетке

### Этапы работы:

1. Прочитать методику.
2. Посмотреть видеоролик (Видеоматериалы по теме Осмос, Законы Рауля. URL: <https://edu.vvsu.ru/mod/hvp/view.php?id=108238>).
3. Выполнить лабораторную работу.
4. Ответить (письменно) на контрольные вопросы (включить в теоретическую часть отчета).
5. Подготовить отчета (самостоятельная работа).
6. Прикрепить отчет в электронный курс (отправить на проверку).
7. Защита отчета (устно).
8. Прикрепить задачи в электронный курс (отправить на проверку).

### Реактивы и оборудование:

#### Опыт 1:

Картофель - 1 шт

Соль - 2 ст. л

Вода - 100 мл

Неглубокая тарелка с водой (или блюдце) - 2 шт

#### Опыт 2:

Морковь - 1 шт

Сахар - 2 ст.

Терка - 1 шт

Блюдце - 2 шт

### Цель работы:

Изучить основные реакции клеток, вызываемые изменениями водного потенциала внешнего раствора.

### Ход работы:

#### Опыт 1:

Разведите в стакане с 50 мл воды 2 ст. л соли

Заполните два блюдца водой (одно соленой и одно водой без соли).

Аккуратно разрежьте картофелину вдоль на две половинки и положите их плоской стороной вниз в блюдца с водой.

Спустя два-три часа посмотрите на ваши образцы.

Зафиксируйте ваши наблюдения - стал ли картофель жестче, или мягче?

Сделайте вывод.

Ответьте письменно на вопросы и включите их в отчет.

По ходу работы сделайте фотографии и включите их в отчет (документ World, или pdf).

Прочитайте подглаву "Осмос" из учебника Н.К. Христофорова. Общая экология. С. 143-145.

#### Опыт 2:

Натрите морковь на терке.

Разделите на 2 части и разложите на блюдца. Половину моркови посыпьте сахаром и аккуратно перемешайте (не надавливая). Вторую половину оставьте без сахара. Оставьте на некоторое время (минут на 15-20).

Зафиксируйте ваши наблюдения.

Сделайте вывод.

По ходу работы сделайте фотографии и включите их в отчет (документ World, или pdf).

### Контрольные вопросы:

1. Дайте определение понятиям "диффузия", "осмос".
2. Что является причиной плазмолиза?
3. Почему в картофеле, сваренном в слабо подсоленном растворе ( $C(\text{NaCl}) = 0,1-0,9 \%$ ) сохраняется больше микроэлементов, чем в картофеле, сваренном в дистиллированной воде?
4. Назовите механизмы осморегуляции у пресноводных и морских рыб.
5. Какие формы организмов называют пойкилоосмотическими и гомойоосмотическими, пойкилогидрическими и гомойогидрическими?
6. Напишите уравнение Вант-Гоффа для расчета величины осмотического давления раствора: а) для электролитов, б) для неэлектролитов.
7. Какой из растворов обладает большим осмотическим давлением: содержащий 0,2 моль  $\text{AlCl}_3$  или 0,2 моль  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  в 1  $\text{дм}^3$  раствора? Степень диссоциации ( $\alpha$ )  $\text{AlCl}_3$  равна 0,75.
8. Вычислить осмотическое давление ( $P_{\text{осм}}$ ) децимолярного раствора  $\text{BaCl}_2$ , если кажущаяся степень диссоциации  $\alpha = 0,72$ , а  $t^0 = 20^0 \text{ C}$ .
9. Вычислить осмотическое давление ( $P_{\text{осм}}$ ) 0,05 М раствора глюкозы ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ) при  $t^0 = 25^0 \text{ C}$ .
10. Найти осмотическое давление ( $P_{\text{осм}}$ ) сахарозы, молярная масса которой  $M$  ( $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ ) равна 342 г/моль, если  $m$  сахарозы = 16 г, а масса воды 350 г.  $T = 293$  град.
11. При  $0^0 \text{ C}$  осмотическое давление ( $P_{\text{осм}}$ ) 0,1 М раствора  $\text{K}_2\text{CO}_3$  равно 272,6 кПа. Определить кажущуюся степень диссоциации раствора.
12. К 100  $\text{см}^3$  0,5 М раствора сахарозы ( $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ ) добавили 300 мл  $\text{H}_2\text{O}$  чему равняется осмотическое давление ( $P_{\text{осм}}$ ) полученного раствора.
13. Сколько грамм глюкозы ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ) должно находиться в 0,5  $\text{дм}^3$  раствора, чтобы он был изотоничен при той же температуре раствору, в 1  $\text{дм}^3$  которого содержится 9,2 г глицерина ( $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$ ).

## Лабораторная работа 2 – Криоскопические и эбуллиоскопические свойства растворов

### Этапы работы:

1. Прочитать методику.
2. Посмотреть видеоролик (Видеоматериалы по теме Осмос, Законы Рауля. URL: <https://edu.vvsu.ru/mod/hvp/view.php?id=108238>).
3. Выполнить лабораторную работу.
4. Ответить (письменно) на контрольные вопросы (включить в теоретическую часть отчета).
5. Подготовить отчета (самостоятельная работа).
6. Прикрепить отчет в электронный курс (отправить на проверку).
7. Защита отчета (устно).
8. Прикрепить задачи в электронный курс (отправить на проверку).

### Реактивы и оборудование:

#### Опыт 1 Криоскопические свойства растворов

Стакан V=50 мл - 2 шт.

Стеклянные палочки для перемешивания – 1 шт.

Термометр – 1 шт.

Вода дистиллированная.

Раствор хлорида натрия. В мерную колбу на 100 мл внести 50 г соли NaCl, разбавить водой до метки и перемешать.

Холодильник

#### Опыт 2 Эбуллиоскопические свойства растворов

Стакан V=50 мл - 2 шт.

Стеклянные палочки для перемешивания – 1 шт.

Термометр – 1 шт.

Вода дистиллированная.

Раствор хлорида натрия (насыщенный). В мерную колбу на 100 мл с дистиллированной водой добавлять NaCl до выпадения соли в осадок.

Плита электрическая

### Цель работы:

Объяснить явление повышения температуры кипения и понижение температуры кристаллизации над раствором.

### Ход работы:

#### Опыт 1 Криоскопические свойства растворов

Посмотреть демонстрационные видеоролики (Видеоматериалы по теме Осмос, Законы Рауля. URL: <https://edu.vvsu.ru/mod/hvp/view.php?id=108238>). Наблюдать изменение температуры замерзания в чистом растворителе и растворе соли.

#### Опыт 2 Эбуллиоскопические свойства растворов

Посмотреть демонстрационные видеоролики (Видеоматериалы по теме Осмос, Законы Рауля. URL: <https://edu.vvsu.ru/mod/hvp/view.php?id=108238>). Наблюдать изменение температуры кипения в чистом растворителе и насыщенном растворе соли.

### Контрольные вопросы:

1. Что такое компоненты (составляющие системы), число независимых компонентов, фаза, вариантность (число степеней свободы)?
2. Какое уравнение называют основным уравнением фазового равновесия (правилом фаз Гиббса)?

3. Что представляет собой диаграмма состояния воды? Сколько степеней свободы имеет система в фигуративной точке, находящейся:
  - а) в любой из трёх плоскостей (полей) фаз;
  - б) на одной из линий;
  - в) на пересечении трёх линий?
4. Как записывают уравнение Клапейрона – Клаузиуса для процессов испарения (возгонки) и плавления?
4. В каких координатах зависимость давления насыщенного пара от температуры является прямолинейной? Как по этой зависимости определяют среднее значение теплоты испарения (возгонки)?
5. Какая зависимость между температурой плавления и давлением наиболее типична для большинства веществ? Почему у воды и некоторых других веществ эта зависимость иная?
6. Какова связь между теплотами испарения, плавления и возгонки вещества в тройной точке?
1. Какую систему называют раствором?
2. Какими способами выражают состав раствора?
3. Какие растворы называют идеальными, предельно разбавленными, реальными (неидеальными)?
4. Какие свойства раствора называют коллигативными?
5. Как зависит давление насыщенного пара летучего растворённого вещества над раствором от его состава? Закон Рауля для идеальных растворов летучих веществ.
6. Как зависит давление насыщенного пара растворителя над раствором нелетучего растворённого вещества от его состава? Закон Рауля для предельно разбавленных бинарных растворов нелетучего растворённого вещества.
7. Каковы физические условия закипания и замерзания жидкости?
8. Как пройдут кривые зависимости давления пара растворителя над растворами нелетучего вещества различных концентраций, если их нанести на диаграмму состояния чистого растворителя?
9. Почему растворы кипят при более высоких, а замерзают при более низких температурах, чем чистый растворитель?
10. Как зависит повышение температуры кипения и понижение температуры замерзания раствора от его концентрации?
11. Что называют эбуллиоскопической и криоскопической постоянной? От каких факторов они зависят? По каким уравнениям их можно рассчитать?
12. Что такое осмотическое давление, как его можно определить и как оно зависит от концентрации растворённого вещества в разбавленных растворах? Закон Вант – Гоффа.
13. Какие растворы называют изотоническими, гипотоническими, гипертоническими?
14. Почему коллигативные свойства растворов электролитов всегда отличаются от коллигативных свойств неэлектролитов?
15. Что называют изотоническим коэффициентом Вант – Гоффа, от каких факторов он зависит?
16. Какими методами, основанными на изучении свойств разбавленных растворов, определяют молярные массы неэлектролитов и степени диссоциации электролитов?
17. Будут ли изотоничны растворы сахара и глюкозы с одинаковой массовой долей 5%?
18. Будут ли замерзать при одинаковой температуре растворы сахара, мочевины, хлорида натрия и сульфата натрия с одинаковой молярной концентрацией?
19. Вычислите повышение температуры кипения раствора, содержащего 0,488 г бензойной кислоты ( $C_7H_6O_2$ ) в 50 г хлороформа. Эбуллиоскопическая константа равна  $3,88\text{ }^{\circ}C$ .

20. Вычислите понижение температуры замерзания раствора, содержащего 0,2 моль растворенного вещества в 750 г. бензола. Криоскопическая константа равна  $5,12\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
21. Вычислите температуру замерзания водного раствора рибозы ( $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5$ ), с массовой долей 3% (растворитель  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $K=1,86\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).
22. Навеска вещества массой 12,42 г. растворена в воде объемом 500 мл. Давление пара полученного раствора при  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  равна 3732,7 Па. Давление пара воды при такой же температуре 3742 Па. Как по этим данным найти  $M_r$  растворенного вещества.
23. Анализом установлена эмпирическая формула вещества  $\text{CH}_2\text{O}$ . Для определения истинной формулы должно быть найдено значение  $M_r$ . С этой целью навеска вещества массой 1 г была растворена в воде массой 100 г, и для полученного раствора определена температура замерзания, которая оказалась равной ( $-0,103\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), то есть  $\Delta t_{\text{зам}} = t_{\text{зам}}(\text{H}_2\text{O}) - t_{\text{зам}}(\text{раствора}) = 0 - (-0,103) = 0,103\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
24. Как определить криоскопическую константу нафталина по следующим экспериментальным данным: нафталин взят массой 20 г и в его расплаве ( $t_{\text{пл}}=80,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) растворена органическая кислота ( $M_r=137,12$ ) массой 0,1106 г;  $t_{\text{зам}}$ (для этого раствора)= $0,278\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

## Лабораторная работа 3 – Физико-химия дисперсных систем

### Этапы работы:

1. Прочитать методику.
2. Посмотреть видеоролики (Демонстрационные опыты).  
URL:<https://edu.vvsu.ru/mod/hvp/view.php?id=115099> ;  
URL:<https://edu.vvsu.ru/mod/hvp/view.php?id=116959> ).
3. Выполнить лабораторные.
4. Ответить (письменно) на контрольные вопросы (включить в теоретическую часть отчета).
5. Подготовить отчет (самостоятельная работа).
6. Прикрепить отчет в электронный курс (отправить на проверку).
7. Защита отчета (устно).
8. Прикрепить задачи в электронный курс (отправить на проверку).

### Реактивы и оборудование:

#### Получение коллоидных частиц:

Стакан V=100 мл - 2 шт.

Пробирки, стекло

Стеклянные палочки для перемешивания

Вода дистиллированная.

FeCl<sub>3</sub> (2%-й раствор) – 10 мл.

KMnO<sub>4</sub> (1,5%-й раствор) – 2 мл.

K<sub>4</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>] (насыщенный раствор) – 2 мл.

FeCl<sub>3</sub> (2%-й раствор) – 25 мл.

NH<sub>3</sub> – 1 мл.

HCl (0,1%-й раствор) – 1 мл.

AgNO<sub>3</sub> (0,002 %-й раствор) – 10 мл.

KI (0,01 %-й раствор) – 1 мл.

AgNO<sub>3</sub> (0,01 %-й раствор) – 1 мл.

KI (0,002 %-й раствор) – 10 мл.

#### Колориметрический метод определения нитрат-ионов NO<sub>3</sub><sup>-</sup>

### Цели работы:

1. Изучение методов получения коллоидных растворов.
2. Составление мицеллы золя.

### Ход работы:

#### Получение коллоидных частиц:

Лабораторная работа 1 Получение коллоидных растворов методом химической конденсации

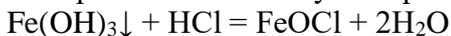
Опыт 1 Получение золя гидроксида железа (III) в реакции гидролиза.

Для получения золя Fe(OH)<sub>3</sub> к 50 мл кипящей воды по каплям добавляют 5-10 мл 2%-ного раствора FeCl<sub>3</sub>. Золь имеет интенсивный красно-коричневый цвет.

Реакция получения Fe(OH)<sub>3</sub> идет по схеме:



Поверхностные молекулы агрегата Fe(OH)<sub>3</sub> вступают в реакцию с HCl:



При написании формулы мицеллы учтите, что вследствие гидролиза соли ионов Fe<sup>3+</sup> в растворе нет. Молекулы FeOCl, подвергаясь диссоциации, образуют ионы FeO<sup>+</sup> и Cl<sup>-</sup>. Данное обстоятельство необходимо учесть при составлении формулы мицеллы.

Задание. Напишите уравнение реакции гидролиза хлорида железа и формулу строения мицеллы золя.

Опыт 2 Получение золя диоксида марганца в реакции восстановления

Для получения золя диоксида марганца 5 мл 1,5%-ного раствора  $\text{KMnO}_4$  разбавляют водой до 50 мл. В разбавленный раствор вводят по каплям 1,5–2 мл 1%-ного раствора  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ . Образуется вишнево-красный золь диоксида марганца.

Задание. Напишите уравнение реакции получения золя диоксида марганца и формулу строения мицеллы золя.

Сделайте общий вывод по опыту 1 и 2.

Лабораторная работа 2 Получение коллоидных растворов методом диспергирования (пептизации)

Опыт 1 Получение золя гексацианоферрата меди

В пробирку к 5 мл насыщенного раствора  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  прибавляют 1 мл 2%-ного раствора  $\text{CuSO}_4$ . Оставить на 15–20 минут для завершения процесса пептизации. Образуется коричнево-красный золь гексацианоферрата меди.

Задание. Напишите уравнение реакции получения золя гексацианоферрата меди и формулу строения мицеллы золя.

Опыт 2 Получение золя гидроксида железа (III)

Берут 25 мл двухпроцентного раствора хлорида железа и прибавляют раствор аммиака по каплям до полного выпадения осадка гидроксида железа (III). Полученный осадок промывают декантацией дистиллированной водой, для чего его взбалтывают с большим количеством воды, а после отстаивания прозрачную жидкость над осадком сливают. О конце отмывания судят по отсутствию запаха аммиака. Промытый осадок разливают поровну в две колбы. В одну в качестве пептизатора прибавляют 0,6–0,8 мл 0,1%-ного раствора  $\text{HCl}$ , а другую оставляют для сравнения. Осадок с пептизатором взбалтывают и осторожно подогревают.

При наступлении пептизации получается красно-коричневый золь гидроксида железа (III).

Задание. Напишите уравнения происходящих реакций и формулу строения мицеллы.

Лабораторная работа 3 Изучение влияния способа получения золя на знак коллоидной частицы

Опыт 1 Получение золя иодида серебра с положительно заряженными частицами

Берут 10 мл 0,002 %-ного раствора нитрата серебра и добавляют по каплям 1 мл 0,01 %-ного раствора иодида калия. Образуется золь иодида серебра с положительно заряженными частицами.

Задание. Напишите уравнение реакции получения иодида серебра и строение мицеллы.

Опыт 2 Получение золя иодида серебра с отрицательно заряженными частицами

В пробирку помещают 10 мл 0,002 %-ного раствора иодида калия и добавляют по каплям 1 мл 0,01 %-ного раствора нитрата серебра. Образуется золь с отрицательно заряженными частицами.

Задание. Напишите уравнение реакции получения иодида серебра и строение мицеллы.

### Контрольные вопросы:

1. Какие системы называются дисперсными?
2. Назовите основные методы получения дисперсных систем. Приведите примеры.
3. Какие свойства коллоидных систем вам известны?
4. Опишите строение коллоидной частицы-мицеллы.
5. К 20 мл 0,1%-ного раствора  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  при энергичном взбалтывании прибавляют 5–6 капель 2%-ного раствора  $\text{FeCl}_3$ . Получают золь, окрашенный в темно-синий цвет.

К 20 мл 2%-ного  $\text{FeCl}_3$  при энергичном взбалтывании прибавляют 5–6 капель 0,1%-ного раствора  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ . Получают золь, окрашенный в зеленый цвет. Чем отличаются полученные золи? Ответ обоснуйте

6. Изобразите строение мицеллы берлинской лазури
7.  $3\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6] + 4\text{FeCl}_3 \rightarrow \text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3\downarrow + 12\text{KCl}$
8.  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2 + \text{KI} \rightarrow$
9. Какова формула мицеллы и заряд гранулы?
  - 1) В случае избытка  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$
  - 2) В случае избытка  $\text{KI}$
10. Составить формулу мицеллы.
11. Золь гидроксида хрома. Его получают в результате взаимодействия хлорида хрома (III) с карбонатом аммония.  
Рассмотрите 2 варианта, как в предыдущих задачах
12. Составить формулу мицеллы  $\text{BaSO}_4$ , полученного в избытке  $\text{BaI}_2$ .
13. Составить формулу мицеллы  $\text{PbSO}_4$ , полученного в избытке  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$
14. Устойчивость дисперсных систем (понятие). Виды устойчивости: кинетическая (седиментационная), агрегативная, конденсационная.
15. Коагуляция. Факторы, влияющие на процесс коагуляции коллоидных растворов. Стадии процесса коагуляции: скрытая и явная.
16. Коагулирующее действие и порог коагуляции?
17. Влияние электролитов на процесс коагуляции коллоидных частиц. Правило Шульце-Гарди.
18. Коагуляция смесями электролитов: аддитивность, синергизм, антагонизм. Взаимная коагуляция.
19. Коллоидный раствор иодида серебра получен по реакции:  $\text{KI} + \text{AgNO}_3 = \text{AgI} + \text{KNO}_3$
20. При некотором избытке  $\text{KI}$ . Его коагулируют растворами сульфата натрия и ацетата кальция. У какого электролита коагулирующая способность выше?
21. Частицы золя при электрофорезе перемещаются к аноду. Коагулирующая способность какого из веществ:  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{CaCl}_2$  или  $\text{K}_3\text{PO}_4$  – будет наибольшей по отношению к данному золю? Дайте пояснения.
22. Коагуляция 1,5 мл золя сульфида золота наступила при добавлении к нему 570 мл раствора хлорида натрия концентрацией 0,2 моль/л. Вычислите порог коагуляции золя ионами натрия и коагулирующую способность электролита.

## Лабораторная работа 4 – Свойства полимеров

### Этапы работы:

1. Прочитать методику.
2. Выполнить лабораторные работы.
3. Ответить (письменно) на контрольные вопросы (включить в теоретическую часть отчета).
4. Подготовить отчет (самостоятельная работа).
5. Прикрепить отчет в электронный курс (отправить на проверку).
6. Защита отчета (устно).
7. Прикрепить задачи в электронный курс (отправить на проверку).

### Реактивы и оборудование:

Стирол (очищенный) – 2 л.  
Бензол – 2 мл.  
Спирт этиловый – 2 мл; 5 мл.  
Перекись водорода – 1 мл.  
Капролактамы – 2 г.  
Ацетон – 5 мл.  
Вода дистиллированная.  
NaOH – 0,01 г.  
Песчаная баня – 1 шт.  
Пробирка – 1 шт.  
Часовое стекло – 1 шт.  
Стеклянная палочка – 4 шт.  
Штатив – 1 шт.  
Спиртовка – 1 шт.  
Кристаллизатор с водой.  
Фильтровальная бумага (белая лента).

### Цели работы:

Получение высокомолекулярных соединений из мономеров по реакции полимеризации и изучение их свойств.

### Ход работы:

Опыт 1 Полимеризация стирола

В широкую пробирку поместите 2 мл стирола и добавьте 6 капель перекиси водорода в качестве инициации процесса полимеризации. Поместите пробирку на песчаную баню, закрепив в лапке штатива, осторожно нагревайте в течение 20 минут до загустевания жидкости, внимательно наблюдая за состоянием вещества, так как реакция идет очень интенсивно. В этом случае пробирку следует приподнять для охлаждения на воздухе.

Вынув пробирку с загустевшей жидкостью из бани, осторожно подогрейте ее в пламени спиртовки для удаления остатков мономера, затем охладите до комнатной температуры.

К полученному раствору добавьте 2 мл бензола и осторожно подогрейте до полного растворения полимера. Половину полученного раствора вылейте на часовое стекло, дайте растворителю испариться (проводить под тягой). После испарения бензола на стекле образуется пленка полистирола, которая легко отделяется, если стекло положить на несколько минут в кристаллизатор с водой. Отделившуюся пленку просушите между листьями фильтровальной бумаги и внесите в пламя спиртовки (под тягой). Отметьте большое количество копоти и характерный резкий запах.

К раствору полимера, оставшегося в пробирке, прилейте по каплям 1-2 мл спирта до выпадения полимера в виде клейкой массы. Извлеките смолу из пробирки с помощью стеклянной палочки на фильтровальную бумагу и убедитесь в его клеящей способности.

Напишите три стадии инициированной полимеризации стирола.

Опыт 2 Получение поликапролактама в присутствии гидроксида натрия

В пробирку поместите 2 г капролактама и 0,01 г гидроксида натрия. Смесь нагрейте в течение 10-20 минут до получения густой вязкой жидкости. После прекращения реакции вытяните из смолы стеклянной палочкой нити. Проверьте растворимость полученного продукта в ацетоне, спирте, воде.

#### **Контрольные вопросы:**

1. Пути получения полимеров?
2. Что такое полимеры? Типичные мономеры, используемые в синтезе высокомолекулярных соединений.
3. Классификация способов получения полимеров.
4. Что такое цепная полимеризация?
5. Что такое ступенчатый синтез?
6. Напишите уравнение реакции полимеризации следующих соединений: а) этилена; хлорвинила?