

МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ УКРАИНЫ  
Запорожский государственный медицинский университет  
Кафедра аналитической химии

# **МЕДИЦИНСКАЯ ХИМИЯ**

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ**

для самостоятельной работы студентов  
1 курса медицинского факультета  
специальности «Педиатрия»

Запорожье 2014

Учебно-методическое пособие **составили:**

кандидат фармацевтических наук **Ю. В. Монайкина;**  
доктор фармацевтических наук, профессор **С. А. Васюк.**

**Рецензенты:**

доктор фармацевтических наук, профессор, заведующий кафедрой  
органической и биоорганической химии **С. И. Коваленко;**

доктор фармацевтических наук, профессор, заведующий кафедрой  
токсикологической и неорганической химии **А. И. Панасенко.**

**Медицинская химия** : учебно-методическое пособие для самостоятельной работы студентов 1 курса медицинского факультета специальности "Педиатрия" / сост. Ю. В. Монайкина, С. А. Васюк. – Запорожье : [ЗГМУ], 2014. – 83 с.

*Утверждено на заседании Центрального методического совета  
Запорожского государственного медицинского университета  
(протокол № 2 от 27.11.2014 г.)*

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Медицинская химия изучается согласно утвержденной типовой программы 2013 года для студентов ВУЗов III-IV уровней аккредитации Украины для специальности 7.12010002 «Педиатрия», соответственно учебного плана, утвержденного приказом МЗ Украины № 539 от 08.07.2010 г. «О внесении изменений к Учебному плану подготовки специалистов образовательного уровня «специалист» квалификации «врач» в высших учебных учреждениях IV уровня аккредитации по специальностям «Лечебное дело», «Педиатрия», «Медико-профилактическое дело», утвержденного приказом МЗ от 19.10.2009 № 749».

Организация учебного процесса осуществляется по кредитно-модульной системе в соответствии с требованиями Болонского процесса.

Согласно учебного плана медицинскую химию изучают в I семестре.

Программа дисциплины состоит из 1 модуля, который включает в себя 4 смысловых модуля:

1. Химия биогенных элементов. Комплексообразование в биологических жидкостях.
2. Кислотно-основные равновесия.  
в биологических жидкостях.
3. Термодинамические и кинетические закономерности протекания процессов и электрокинетические явления в биологических системах.
4. Физико-химия поверхностных явлений. Лиофобные и лиофильные дисперсные системы.

**СМЫСЛОВОЙ МОДУЛЬ 1**

**ХИМИЯ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.**

**КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЕ В БИОЛОГИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЯХ**

## Занятие № 1-2

**ТЕМА:** Биогенные s- и p-элементы, биологическая роль, применение в медицине. Биогенные d-элементы, биологическая роль, применение в медицине

**ЦЕЛЬ:** Изучить свойства соединений s-, p- и d-элементов и их медико-биологическое влияние на организм человека

**Задания для самоподготовки студентов:**

1. Написать электронные формулы атомов и ионов:

натрия,

калия,

кальция,

магния,

бария,

цинка,

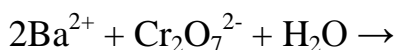
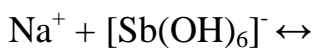
хрома (III),

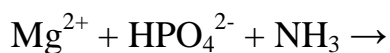
фосфора (V),

железа (II и III).

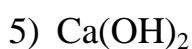
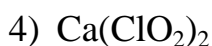
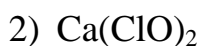
2. Написать электронные конфигурации атомов серы, марганца, меди, молибдена в стационарном и возбужденном состоянии.

3. Указать продукты и внешние эффекты реакций:





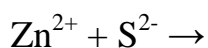
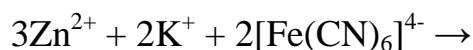
4. Определить, какая из приведенных формул является формулой хлорной извести? Негашенной извести? Гашеной извести? Гипса?



5. Написать уравнения реакций обнаружения  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{I}^-$ -ионов по реакции с нитратом серебра. В какой среде протекают эти реакции? В чем различие внешних эффектов?

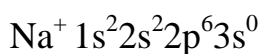
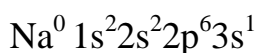
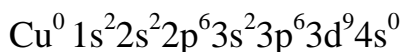
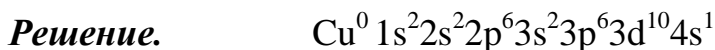
6. При помощи соответствующих уравнений реакций охарактеризовать химические свойства следующих веществ:  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ .

7. Указать продукты и внешние эффекты реакций:



### Примеры выполнения заданий:

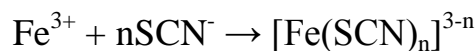
**Задание 1.** Написать электронную конфигурацию атома и иона меди и натрия.



**Задание 2.** Указать продукты и внешний эффект реакции:



*Решение.*



Внешний эффект: окрашивание раствора в красный цвет.

### Литература:

1. Мороз А. С, Луцевич Д. Д. Яворська Л. П. Медична хімія: підручник для студ. вищ. навч. мед. закл. – Вінниця: Нова книга, 2011. – С. 225-255, 292-301.
2. Медицинская химия : учеб. / В. А. Калибабчук, Л. И. Грищенко, В. И. Галинская и др.; под ред. В. А. Калилбабчук. – К.: Медицина, 2008. – С. 379-389.
3. Общая химия. Биофизическая химия. Химия биогенных элементов: Учеб. для вузов / Ю. А. Ершов, В. А. Попков, А. С. Берлянд и др.: Под ред. Ю. А. Ершова. – М. Высш. шк., 2000. – С. 254-299.
4. Зеленин К. Н. Химия: Учеб. для мед. вузов. – СПб: «Специальная литература», 1997. – С. 626-649.

## Занятие № 3

**ТЕМА: Комплексообразование в биологических системах**

**ЦЕЛЬ: Изучить теорию комплексообразования, свойства комплексных соединений и их применение в медицине**

**Задания для самоподготовки студентов:**

1. Назвать комплексные соединения, определить заряды комплексных ионов в соединениях:

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

2. Написать формулы комплексных соединений:



- 1) пентацианоакваферрат(II) калия.
- 2) дихлородиаминоплатина(II).
- 3) гексагидроксоалюминат(III) натрия.
  - 4) нитрат тиоцианопентаамминкобальта (III).
  - 5) дигидроксотетрахлороплатинат(IV) калия
  - 6) сульфат тетраамминмеди (II).
  - 7) хлорид гексаакваалюминия (III).
  - 8) дигидроксотетрахлороплатинат(IV) аммония.
  - 9) дибромодиаминоплатина(II).
  - 10) гексагидроксохромат(III) натрия.
  - 11) бромид дигидроксоакватриамминхрома(III).
  - 12) тетрацианодифтороплатинат(IV) цезия(I).

3. Написать уравнения констант нестойкости и устойчивости для комплексных ионов:

- 1)  $[\text{Cu}(\text{CN})_4]^{2-}$
- 2)  $[\text{Pt}(\text{CN})_4\text{Br}_2]^{2-}$
- 3)  $[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$
- 4)  $[\text{HgI}_4]^{2-}$
- 5)  $[\text{Fe}(\text{P}_2\text{O}_7)_4]^{5-}$
- 6)  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{SO}_4]^+$
- 7)  $[\text{Cr}(\text{NH}_3)_5\text{Br}]^{2+}$
- 8)  $[\text{Pt}_4(\text{OH})_4]^{4+}$
- 9)  $[\text{PtCl}(\text{OH})_5]^{2-}$
- 10)  $[\text{FeF}_6]^{3-}$

**Примеры выполнения заданий:**

**Задание 1.** Назвать комплексное соединение и определить заряд комплексообразователя:  $K[Pt(NH_3)_2Cl_5]$ .

**Решение.**

Пентахлородиаминоплатинат(IV) калия.

Заряд комплексообразователя:  $+1+X+(-5)=0$ , откуда  $X=+4$

**Задание 2.** Написать уравнения констант нестойкости и устойчивости для комплексного иона  $[Cu(CN)_4]^{2-}$ .

**Решение.** Комплексный ион диссоциирует по схеме:



$$K_{\text{нест.}} = \frac{[Cu^{2+}] \cdot [SCN^-]^4}{[[Cu(SCN)_4]^{2-}]}; \quad \beta = \frac{[[Cu(SCN)_4]^{2-}]}{[Cu^{2+}] \cdot [SCN^-]^4}$$

### Литература:

1. Мороз А. С, Луцевич Д. Д. Яворська Л. П. Медична хімія: підручник для студ. вищ. навч. мед. закл. – Вінниця: Нова книга, 2011. – С. 231-233.
2. Медицинская химия : учеб. / В. А. Калибабчук, Л. И. Грищенко, В. И. Галинская и др.; под ред. В. А. Калилбабчук. – К.: Медицина, 2008. – С. 379-382.
3. Общая химия. Биофизическая химия. Химия биогенных элементов: Учеб. для вузов / Ю. А. Ершов, В. А. Попков, А. С. Берлянд и др.: Под ред. Ю. А. Ершова. – М. Высш. шк., 2000. – С. 254-299.
4. Ленский А. С. Введение в бионеорганическую и биофизическую химию : Учеб. пособие для студ. мед. вузов. – М.: Высш. шк., 1989. – С. 219-227.
5. Зеленин К. Н. Химия: Учеб. для мед. вузов. – СПб: «Специальная литература», 1997. – С. 71-83, 658-665.

**СМЫСЛОВОЙ МОДУЛЬ 2**

**КИСЛОТНО-ОСНОВНЫЕ РАВНОВЕСИЯ  
В БИОЛОГИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЯХ**

## Занятие № 4

**ТЕМА: Величины, характеризующие количественный состав растворов. Приготовление растворов**

**ЦЕЛЬ: Закрепить знания по способам выражения концентрации растворов**

**Задания для самоподготовки студентов:**

1. Рассчитать навеску для приготовления 3 л 0,1 М раствора HCl.  
(ответ: 10,96 г)
2. Рассчитать молярную концентрацию раствора, который содержит 30 г NaOH в 2 л раствора.(ответ: 0,375 моль/л)
3. В каком объеме воды необходимо растворить 1,5 моль NaOH для получения 5% раствора? (ответ: 1140 мл)
4. В каком соотношении надо взять 37% раствор HCl и воду для приготовления 8,2% раствора. (ответ: 1 мл 37% раствора HCl и 3,5 мл воды)
5. Сколько мл воды надо добавить к 50 г 2% раствора NaCl для приготовления 0,9% раствора? (ответ: 48,9 мл воды)
6. При отравлении соединениями мышьяка вводят унитиол из расчета 56 мг вещества на 10 кг веса человека. Вычислить объем 5% раствора унитиола, который необходимо ввести больному весом 60 кг. ( $\rho$  раствора 1,12).  
(ответ: 6 мл)

7. Больному массой 76 кг необходимо ввести раствор  $\text{NaHCO}_3$  из расчета 0,66 ммоль/кг массы тела. Сколько мл 4,2 % раствора надо взять ?  
(ответ: 100 мл)
8. В каком объеме воды надо растворить 2 моль  $\text{NaOH}$ , чтобы получить 10 % раствор? (ответ: 320 г)
9. Раствор эуфиллина выпускают в виде 2,4 % в ампулах по 10 мл. Сколько мг чистого вещества в 1 ампуле? (ответ: 240 мг)
10. Рассчитать навеску для приготовления 0,5 л раствора аскорбиновой кислоты с массовой долей 5 % ( $\rho = 1,08$ ). (ответ: 27 г)
11. Вычислить молярную концентрацию раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$  с массовой долей 30% ( $\rho = 1,22$ ,  $f_{\text{э}} = 1/2$ ). (ответ: 7,47 моль/л.)
12. Сколько мл 10%-го раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ( $\rho = 1,065$ ) необходимо для приготовления 5 л её раствора с  $C_{\text{экв}} = 0,1$  моль/л ( $f_{\text{э}} = 0,5$ ).  
(ответ: 230 мл)
13. Рассчитать навеску  $\text{NaCl}$  для приготовления 4 л. гипертонического раствора с  $\omega = 10\%$  (ответ: 42,8 г)
14. Сколько мл. 30% раствора  $\text{H}_2\text{O}_2$  ( $\rho = 1,11$ ) необходимо взять для приготовления 2 л фармакопейного препарата с  $\omega(\text{H}_2\text{O}_2) = 3\%$  ( $\rho = 1.007$ )?  
(ответ: 181 мл)

15. Детям вводят но-шпу из расчета 2 мг/кг массы тела ( $\rho = 1,04$ ). Сколько мл 2% раствора этого препарата необходимо ввести ребенку массой 25 кг?  
(ответ: 0,2 мл)
16. Известно, что 1 ЕД инсулина способствует усвоению в организме 5 г глюкозы. Сколько единиц инсулина необходимо добавить к 500 мл 5 % раствора глюкозы? (ответ: 5 ЕД)
17. Какой объем 30% раствора  $\text{H}_3\text{PO}_4$  ( $\rho = 1,18$ ) необходимо для приготовления 5 л раствора с  $C_{\text{экв}} = 2$  моль/л, если фосфатная кислота реагирует полностью? (ответ: 922 мл.)
18. В 250 мл раствора содержится 26,5 г  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Вычислить  $C_{\text{экв}}$ .  
(ответ: 2 моль/л).
19. Сколько грамм оксалатной (щавелевой) кислоты надо растворить в 200 мл воды для получения 10% раствора?  
(ответ: 22,2 г)

### Примеры выполнения заданий:

**Задача 1.** Рассчитать навеску NaOH для приготовления 2 л 0,3 М раствора.

**Решение.** Записываем формулу молярной концентрации:

$$C = \frac{a_x}{M_x \cdot V}$$

Из этой формулы находим  $a_x$ :

$$a_x = C \cdot M_x \cdot V$$

$$a_x = 0,3 \cdot 40 \cdot 2 = 24 \text{ г}$$

Ответ: 24 г NaOH.

**Задача 2.** Какой молярной концентрации соответствует раствор соляной кислоты в желудочном соке, если массовая доля HCl в нем 0,52%?

**Решение.**

1) Пусть имеется 100 г желудочного сока. В нем содержится 0,52 г HCl. Молярная концентрация рассчитывается на 1000 мл раствора. Принимая плотность желудочного сока за 1, находим массу соляной кислоты в 1000 мл раствора:

в 100 г раствора - 0,52 г HCl

в 1000 г (мл) – X

$$X = \frac{1000 \cdot 0,52}{100} = 5,2 \text{ г}$$

2) Находим молярную концентрацию HCl:

$$C = \frac{a_x}{M_x \cdot V}$$

$$C = \frac{5,2_x}{36,5 \cdot 1} = 0,142 \text{ моль/л}$$

Ответ: 0,142 моль/л

**Задача 3.** Сколько г.  $\text{KMnO}_4$  необходимо для приготовления 2 л раствора с  $S_{\text{ЭКВ}} = 0,1$  моль/л, если  $f_{\text{Э}} \text{KMnO}_4 = 1/5$ ?

**Решение.** Записываем формулу молярной концентрации эквивалента:

$$C_{\text{эКВ.}} = \frac{a_x}{M_{\text{эКВ.Х}} \cdot V}, \text{ где } M_{\text{эКВ.Х}} = f_{\text{эКВ.}} \cdot M.$$

Отсюда:

$$a_x = C \cdot f_{\text{эКВ.}} \cdot M_x \cdot V$$

$$a_x = 0,1 \cdot 1/5 \cdot 158 \cdot 2 = 31,6 \text{ г}$$

Ответ: 31,6 г

**Задача 4.** Детям вводят этимизол в расчете 1 мг этимизола на 1 кг массы тела. Сколько мл 1,5%-го раствора этого препарата необходимо для ребенка массой 2,8 кг.

**Решение.**

1) Находим массу этимизола, которую надо ввести ребенку:

1мг этимизола – на 1кг массы тела

X мг – на 2,8 кг массы тела

$$X = 2,8 \text{ мг} = 0,0028 \text{ г};$$

2) Находим массу раствора этимизола:

$$m = \frac{a \cdot 100}{\omega} = \frac{0,0028 \cdot 100}{1,5} = 0,187 \text{ г}$$

3) Так как плотность раствора не дается, то принимаем ее за 1. Тогда, объем раствора этимизола равен его массе, т.е. 0,19 мл.

Ответ: 0,19 мл.



## Литература:

1. Мороз А. С, Луцевич Д. Д. Яворська Л. П. Медична хімія: підручник для студ. вищ. навч. мед. закл. – Вінниця: Нова книга, 2011. – С. 87-110.
2. Медицинская химия : учеб. / В. А. Калибачук, Л. И. Грищенко, В. И. Галинская и др.; под ред. В. А. Калилбачук. – К.: Медицина, 2008. – С. 106-126.
3. Мороз А. С, Яворська Л. П., Луцевич Д. Д. та ін. Біофізична та колоїдна хімія. – Вінниця: Нова книга, 2007. – С. 110-122.
4. Ленский А. С. Введение в бионеорганическую и биофизическую химию : Учеб. пособие для студ. мед. вузов. – М.: Высш. шк., 1989. – С. 93-102.

## Занятие № 5

**ТЕМА: Кислотно-основное равновесие в организме. Водородный показатель биологических жидкостей. Буферные системы**

**ЦЕЛЬ: Научиться оценивать и прогнозировать процессы, протекание которых зависит от изменения реакции среды. Научиться оценивать действие буферных систем в поддержании определенного значения рН**

**Задания для самоподготовки студентов:**

1. Вычислить рН 0,0001 М раствора HCl. (ответ: рН = 4)
2. Вычислить рН раствора с концентрацией ионов водорода  $3,7 \cdot 10^{-5}$  моль/л. (ответ: рН = 4,43)
3. Вычислить рН раствора муравьиной кислоты с  $C_{\text{экв}} = 0,1$  моль/л. (ответ: рН = 2,37)
4. Вычислить рН 0,2 М раствора уксусной кислоты. (ответ: рН = 2,88)
5. В некоторой биологической жидкости концентрация ионов водорода составляет  $4,46 \cdot 10^{-8}$  моль/л. Рассчитать значения рН, рОН и  $[\text{OH}^-]$ . Назвать биологическую жидкость.
6. Рассчитать рН раствора гидроксида натрия, в 1 литре которого содержится 4 г NaOH. (ответ: рН = 13)
7. Рассчитать рН 0,01 М раствора ацетата калия. (ответ: рН = 8,38)

8. Вычислить pH раствора  $\text{NH}_4\text{OH}$  с молярной концентрацией 0,15 моль/л.  
(ответ: pH = 11,21)
9. Как изменится pH раствора, полученного после смешивания равных объемов растворов  $\text{HCl}$  с  $C_{\text{экв}} = 0,8$  моль/л и  $\text{NaOH}$  с  $C_{\text{экв}} = 0,2$  моль/л?  
(ответ: pH возрастет в 5 раз)
10. Вычислить pH 4% раствора  $\text{KOH}$ . (ответ: 13,75)
11. Как изменится pH воды, если к 50 мл добавить 20 мл 0,1 М раствора  $\text{NaOH}$ . (ответ: 5,45)
12. Вычислить  $[\text{H}^+]$ , если pOH раствора 3,58. (ответ:  $3,80 \cdot 10^{-11}$ )
13. Вычислить pH раствора  $\text{HCl}$  с массовой долей 2%. (ответ: 0,26)
14. Вычислить pH фосфатного буфера, который состоит из 60 мл 0,1 М раствора однозамещенной соли и 40 мл 0,1 М раствора двузамещенной соли.  $\text{pK}_a(\text{H}_2\text{PO}_4^-) = 7,2$ . (ответ: 6,62)
15. Вычислить pH аммиачного буфера, который состоит из 70 мл 0,15 М раствора  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  и 50 мл 0,1 М раствора  $\text{NH}_4\text{OH}$ .  $\text{pK}_b(\text{NH}_4\text{OH}) = 4,75$ .  
(ответ: 8,93)
16. Для лабораторных исследований применяется ацетатный буферный раствор. Рассчитать pH буферного раствора, приготовленного при смешивании 100 мл раствора  $\text{CH}_3\text{COOH}$  с концентрацией  $C = 0,1$  моль/л и 200 мл раствора  $\text{CH}_3\text{COONa}$  с концентрацией  $C = 0,2$  моль/л.  $\text{pK}_a(\text{CH}_3\text{COOH}) = 4,75$ . (ответ: 5,35)

17. Вычислить рН ацетатного буфера, состоящего из 50 мл 0,1 М раствора  $\text{CH}_3\text{COOH}$  и 40 мл 0,15 М раствора  $\text{CH}_3\text{COONa}$ .  $\text{pK}_a(\text{CH}_3\text{COOH}) = 4,75$ . (ответ: 4,95)
18. Вычислить буферную емкость ацетатного буфера, который состоит из 90 мл 0,15 М раствора  $\text{CH}_3\text{COOH}$  и 70 мл 0,12 М раствора  $\text{CH}_3\text{COONa}$ , если на титрование его 5 мл расходуется 3,5 мл 0,1 М раствора  $\text{NaOH}$ .  $\text{pK}_a(\text{CH}_3\text{COOH}) = 4,75$ . (ответ: 0,018)
19. Вычислить буферную емкость сыворотки крови по кислоте, если на титрование 20мл ее ушло 3,6 мл 0,1 М раствора  $\text{HCl}$ ; рН сыворотки при этом изменился до 7,0. (ответ: 0,05)
20. Рассчитать рН фосфатного буферного раствора, приготовленного из 100 мл раствора гидрофосфата натрия,  $\text{C}(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 0,05$  моль/л и 50 мл раствора дигидрофосфата натрия,  $\text{C}(\text{NaH}_2\text{PO}_4) = 0,1$  М,  $\text{pK}_a(\text{H}_2\text{PO}_4^-) = 7,2$ . (ответ: 7,20)
21. К 100 мл буферного раствора добавили 36 мл 0,05 М раствора  $\text{HCl}$ , при этом значение рН изменилось от 7,3 до 7,0. Рассчитать буферную емкость по \_\_\_\_\_ кислоте. (ответ: 0,06)
22. К 100 мл буферного раствора для изменения рН от 7,6 до 7,0 надо добавить 25 мл  $\text{HCl}$ ,  $\text{C}_{(\text{HCl})} = 0,05$  моль/л. Вычислить буферную емкость по кислоте. (ответ: 0,02)

23. К 100 мл буферного раствора добавили 12 мл 0,1 М раствора NaOH, при этом значение рН изменилось от 7,4 до 9,34. Рассчитать буферную емкость по щелочи. (ответ: 0,006)

24. К 100 мл крови добавили 14 мл раствора NaOH,  $C_{\text{(NaOH)}} = 0,1$  моль/л, при этом рН изменился от 7,36 до 9,36. Вычислить буферную емкость крови по щелочи. (ответ: 0,07)

25. К 100 мл крови добавили 36 мл раствора HCl,  $C_{\text{(HCl)}} = 0,1$  моль/л, при этом рН изменился от 7,36 до 6,64. Рассчитать буферную емкость крови по кислоте. (ответ: 0,05)

### **Примеры выполнения заданий:**

**Задача 1.** Вычислить рН 0,001 М раствора NaOH.

*Решение.*

$$\text{pOH} = -\lg [\text{OH}^-] = -\lg 10^{-3} = 3.$$

$$\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 14 - 3 = 11.$$

Ответ: 11.

**Задача 2.** Рассчитать рН 0,05 М раствора бензоата натрия.

*Решение.* Бензоат натрия – анионное основание, поэтому используем формулу для расчета рН слабых оснований:

$$\text{pH} = 7 + \frac{1}{2}\text{pK}_a + \frac{1}{2}\lg C_b$$

Из «Справочника по аналитической химии»:

$$pK_a(C_6H_5OON) = 4,2.$$

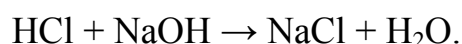
$$pH = 7 + \frac{1}{2} \cdot 4,2 + \frac{1}{2} \lg 0,05 = 7 + 2,1 + \frac{1}{2} \cdot (-1,3) = 8,45.$$

Ответ: 8,45.

**Задача 3.** Определить pH раствора, полученного после смешивания равных объемов растворов HCl с концентрацией 0,3 моль/л и NaOH с концентрацией 0,1 моль/л .

*Решение.*

1) При смешивании растворов кислота и щелочь реагируют по уравнению:



Из уравнения видно, что кислота и щелочь реагируют в соотношении 1 : 1. Так кислоты было взято 0,3 моль, то после реакции в растворе осталось кислоты:  $0,3 - 0,1 = 0,2$  моль. Так как объем смеси увеличился в 2 раза, то концентрация кислоты в растворе:  $0,2 / 2 = 0,1$  моль/л.

2) Находим pH образовавшегося раствора:

$$[H^+] = 0,1 = 10^{-1}.$$

$$pH = -\lg [H^+] = -\lg 10^{-1} = 1.$$

Ответ: 1.

**Задача 4.** Вычислить pH, ацетатного буфера, состоящего из 70 мл 0,1 М раствора  $CH_3COOH$  и 40 мл 0,15 М раствора  $CH_3COONa$ .  $pK_a(CH_3COOH) = 4,76$ .

*Решение.* pH буферной системы, можно рассчитать по формуле:

$$\text{pH} = \text{pK}_a + \lg \frac{C_b}{C_a}$$

$$\text{pH} = \text{pK}_a + \lg \frac{C_b}{C_a} = 4,76 + \lg \frac{0,15 \cdot 40}{0,1 \cdot 70} = 4,76 + \lg 0,857 = 4,69$$

Ответ: 4,69.

**Задача 5.** Вычислить буферную емкость сыворотки крови по кислоте, если на титрование 5 мл ее ушло 7,5 мл 0,1М раствора HCl.

**Решение.**

$\text{pH}_0$  – это pH сыворотки крови = 7,36;

$\text{pH}_1$  – это pH раствора после окончания титрования, т.е. 4,4 (так как в сыворотке окраска метилоранжа желтая, а при титровании кислотой меняет окраску на розовую при  $\text{pH} = 4,4$ ).

Буферная емкость по кислоте рассчитывается по формуле:

$$V_{(\text{HCl})} = \frac{C_{\text{Мэ}(\text{HCl})} \cdot V_{(\text{HCl})}}{V_{\text{буфера}} \cdot (\text{pH}_0 - \text{pH}_1)}$$

$$V_{(\text{HCl})} = \frac{0,1 \cdot 7,5}{5 \cdot (7,36 - 4,4)} = 0,05 \text{ моль/л.}$$

Ответ: 0,05 моль/л.

**Задача 6.** Вычислить буферную емкость гидрокарбонатного буфера с  $\text{pH} = 6,34$ , если на титрование 5 мл этого буфера ушло 4,8 мл 0,1 М раствора NaOH.

**Решение.**

Буферная емкость по щелочи рассчитывается по формуле:

$$V_{(\text{NaOH})} = \frac{C_{\text{Мэ}(\text{NaOH})} \cdot V_{(\text{NaOH})}}{V_{\text{буфера}} \cdot (\text{pH}_1 - \text{pH}_0)}$$

$$\text{pH}_0 = 6,34$$

$\text{pH}_1$  – это pH раствора после окончания титрования, что соответствует нижней границе интервала перехода окраски индикатора фенолфталеина (8,2).

$$V_{(\text{NaOH})} = \frac{0,1 \cdot 4,8}{5 \cdot (8,2 - 6,34)} = 0,05 \text{ моль/л.}$$

Ответ: 0,05 моль/л.

### Литература:

1. Мороз А. С, Луцевич Д. Д. Яворська Л. П. Медична хімія: підручник для студ. вищ. навч. мед. закл. – Вінниця: Нова книга, 2011. – С. 129-176.
2. Медицинская химия: учеб. / В. А. Калибачук, Л. И. Грищенко, В. И. Галинская и др.; под ред. В. А. Калилбачук. – К.: Медицина, 2008. – С. 141-179.
3. Общая химия. Биофизическая химия. Химия биогенных элементов: Учеб. для вузов / Ю. А. Ершов, В. А. Попков, А. С. Берлянд и др.: Под ред. Ю. А. Ершова. – М. Высш. шк., 2000. – С. 80-129.
4. Садовничая Л. П., Хухрянский В. Г., Цыганенко А. Я. Биофизическая химия. – К.: Вища школа, 1986. – С. 59-90.
5. Ленский А. С. Введение в бионеорганическую и биофизическую химию : Учеб. пособие для студ. мед. вузов. – М.: Высш. шк., 1989. – С. 126-160.
6. Зеленин К. Н. Химия: Учеб. для мед. вузов. – СПб: «Специальная литература», 1997. – С. 152-178.
7. Мороз А. С, Яворська Л. П., Луцевич Д. Д. та ін. Біофізична та колоїдна хімія. – Вінниця: Нова книга, 2007. – С. 174-190.



## Занятие № 6

**ТЕМА: Основы титриметрического анализа. Кислотно-основное титрование. Ацидиметрия, алкалиметрия**

**ЦЕЛЬ: Ознакомиться с основами количественного анализа, изучить общие положения титриметрических методов и методов кислотно-основного титрования**

**Задания для самоподготовки студентов:**

1. Вычислить фактор эквивалентности и молярную массу эквивалента для следующих веществ в реакции кислотно-основного взаимодействия, протекающей полностью:  
1)  $\text{HNO}_3$ , 2)  $\text{NaOH}$ ; 3)  $\text{NH}_3$ ; 4)  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ; 5)  $\text{KHSO}_4$ ;  
6)  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ; 7)  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ; 8)  $\text{NaHCO}_3$ ; 9)  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ;  
10)  $\text{Ba}(\text{OH})_2$ ; 11)  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ; 12)  $\text{H}_2\text{CO}_3$ .
2. Вычислить навеску тетрабората натрия для приготовления 0,5 л титрованного раствора с  $C_{\text{ЭКВ}} = 0,1$  моль/л. (ответ: 4,55 г)
3. Сколько миллилитров 2,00 М раствора  $\text{HNO}_3$  нужно взять для приготовления 3 л 0,1000 М. раствора? (ответ: 150 мл.)
4. Вычислить  $C_{\text{ЭКВ}}$  раствора фосфатной кислоты, если в 1,5 л его содержится 7,5 г кислоты. (ответ: 0,15 моль/л)
5. Вычислить молярную концентрацию соляной кислоты, если в 700 мл раствора ее содержание 3,5 г. (ответ: 0,13 моль/л)

6. Вычислить молярную концентрацию эквивалента серной кислоты, если в 600 мл раствора ее содержание 5,5 г. (ответ: 0,18 моль/л)
7. Вычислить  $C_{\text{экв}}$  раствора соляной кислоты, если в 200 мл раствора содержится 15 г кислоты. (ответ: 0,2 моль/л).
8. Сколько граммов  $\text{H}_2\text{SO}_4$  содержится в 5 л раствора, если на титрование 25,00 мл этого раствора израсходовано 22,50 мл 0,0950 н. раствора  $\text{KOH}$ ? (ответ: 20,97 г.)
9. Сколько грамм-эквивалентов: а) в навеске 1,8909 г щавелевой кислоты  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ; б) в 20 мл 0,12 М раствора  $\text{NaOH}$ ? (ответ: а) 0,030; б) 0,0024)
10. Сколько миллиграмм-эквивалентов содержится: а) в навеске 0,4240 г  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  х.ч. б) в 50 мл 0,20 н. раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ? (ответ: а) 8,00; б) 10)
11. На титрование 10,00 мл 0,09518 н. раствора тетрабората натрия расходуется 9,23 мл раствора хлороводородной кислоты. Рассчитайте титр и молярную концентрацию эквивалента раствора  $\text{HCl}$ . (ответ: 0,1031 моль/л)
12. Рассчитайте молярную концентрацию эквивалента раствора гидроксида натрия, если на титрование 20,00 мл 0,1025 М раствора серной кислоты расходуется 20,50 мл этого раствора. (ответ: 0,2 моль/л)
13. На титрование 25,00 мл 0,1082 н. раствора гидроксида натрия расходуется 23,10 мл раствора хлороводородной кислоты. Рассчитайте молярную концентрацию эквивалента раствора  $\text{HCl}$ . (ответ: 0,1171 моль/л)

14. На титрование 10,00 мл 0,05125 н. раствора гидроксида калия расходуется 5,63 мл раствора хлороводородной кислоты. Рассчитайте титр и молярную концентрацию эквивалента раствора HCl. (ответ: 0,09103 моль/л)

15. Рассчитайте молярную концентрацию эквивалента и титр раствора гидроксида натрия, если на титрование 20,00 мл 0,05036 н. раствора серной кислоты расходуется 18,30 мл этого раствора. (ответ: 0,05504 моль/л; 0,002202 г/мл)

### Примеры выполнения заданий:

**Задача 1.** На титрование 5,00 мл 0,1099 н. раствора тетрабората натрия расходуется 9,53 мл раствора хлороводородной кислоты. Рассчитайте титр и молярную концентрацию эквивалента раствора HCl.

**Решение.** Согласно закону эквивалентов:

$$C_{M_3}(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7) \cdot V(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7) = C_{M_3}(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl}),$$

откуда молярная концентрация эквивалента раствора HCl равна:

$$C_{M_3(\text{HCl})} = \frac{C_{M_3(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7)} \cdot V_{(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7)}}{V_{(\text{HCl})}} = \frac{0,1099 \cdot 5,00}{9,53} = 0,05746 \text{ моль/л.}$$

Рассчитываем титр раствора HCl по формуле:

$$T = C_{M_3}(\text{HCl}) \cdot M_3'(\text{HCl});$$

$$M(\text{HCl}) = 36,46 \text{ г/моль};$$

$$f_3(\text{HCl}) = 1;$$

$$M_{\text{э}}'(\text{HCl}) = M(\text{HCl}) \cdot f_{\text{э}}(\text{HCl}) : 1000 = 0,03646.$$

$$T = 0,05746 \cdot 0,03646 = 0,002102.$$

Ответ: 0,002102 г/мл; 0,05746 моль/л.

**Задача 2.** Вычислить навеску  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  для приготовления 3 л титрованного раствора с  $C_{\text{эКВ}} = 0,5$  моль/л.

**Решение.** Вычисляем молярную массу эквивалента  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ :

$$M(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 106 \text{ г/моль};$$

$$f_{\text{э}}(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 1/2;$$

$$M_{\text{э}}(\text{Na}_2\text{CO}_3) = M(\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot f_{\text{э}}(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 106 \cdot 1/2 = 53 \text{ г/моль}.$$

Находим навеску карбоната натрия, используя формулу:

$$C_{\text{эКВ.}} = \frac{a_x}{M_{\text{эКВ.Х}} \cdot V},$$

откуда:

$$a(\text{Na}_2\text{CO}_3) = C_{\text{эКВ.}}(\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot M_{\text{эКВ.}}(\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot V$$

$$a(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,5 \cdot 53 \cdot 3 = 79,5 \text{ г}.$$

Ответ: 79,5 г.

### Литература:

1. Мороз А. С, Луцевич Д. Д. Яворська Л. П. Медична хімія: підручник для студ. вищ. навч. мед. закл. – Вінниця: Нова книга, 2011. – С. 313-336.
2. Харитонов Ю. Я. Аналитическая химия (аналитика). В 2 кн. Кн. 2. Количественный анализ. Физико-химические (инструментальные) методы анализа. – М.: Высшая школа, 2001. – С. 5-7, 68-77, 81-117.

## Занятие № 7

### ТЕМА: Коллигативные свойства растворов

**ЦЕЛЬ:** Научиться применять данные об осмотическом давлении в медицинской практике

#### Задания для самоподготовки студентов:

1. Вычислить осмотическое давление 0,2 М раствора глюкозы.
2. Вычислить осмотическое давление 0,3 М раствора NaCl.
3. Вычислить осмотическое давление 10%- раствора CaCl<sub>2</sub>.
4. Изотоничны ли 2%-ные растворы уксусной кислоты и глюкозы?
5. Изотоничны ли 1%-ные растворы мочевины и натрия хлорида?
6. Вычислить молярную концентрацию гемоглобина, если 1% раствор его имеет осмотическое давление равное 0,004 атм.
7. Вычислить осмотическое давление 0,2 М раствора калия хлорида.
8. Вычислить осмотическое давление 4% раствора глюкозы.
9. Вычислить температуру замерзания 2 М раствора NaCl.  
 $k_{кр.} = 1,86 \text{ }^{\circ}\text{C/m}$

- 10.1% раствор перманганата калия используется в медицине в качестве наружного средства. Рассчитать осмотическое давление этого раствора при 25 °C ( $\rho = 1,02$  г/мл).
11. Рассчитать осмотическое давление 2% раствора бромида кальция ( $\rho = 1,01$  г/мл) при 37 °C. Является ли данный раствор изотоническим по отношению к крови (ответ пояснить).
12. Рассчитать температуру кипения водного раствора сахарозы, содержащего 50 г  $C_{12}H_{22}O_{11}$  в 350 г воды.  $k_{эб} = 0,52$  °C/m.
13. Рассчитать температуру замерзания водного раствора хлорида цинка, в котором на 100 г воды приходится 5,7 г хлорида цинка.  $k_{кр.} = 1,86$  °C/m.
14. В качестве кровеостанавливающего средства используют 10% водный раствор хлорида кальция. Рассчитать температуру кипения данного раствора.  $k_{эб} = 0,52$  °C/m.
15. Рассчитать температуру замерзания раствора сахарозы ( $C_{12}H_{22}O_{11}$ ), в котором на 100 г воды приходится 18,39 г сахарозы.  $k_{эб} = 1,86$  °C/m.
16. Рассчитать температуру замерзания 30%-го водного раствора хлорида натрия.  $k_{кр.} = 1,86$  °C/m.
17. Спиртовые растворы йода используют в качестве антисептического препарата. Рассчитайте температуру кипения раствора, в котором в 200 мл этилового спирта растворили 27 г кристаллического йода. ( $t_{кип.}$  этанола = 78,4 °C;  $k_{эб} = 1,16$ ;  $\rho$  этанола = 0,8 г/мл)

### Примеры выполнения заданий:

**Задача 1.** Вычислить осмотическое давление (в кПа и в атм.) 0,1М раствора мочевины при 25 °С.

**Решение.** Мочевина это неэлектролит, поэтому осмотическое давление находим по формуле:

$$T = 25 + 273 = 298 \text{ К}$$

$$\pi = CRT = 0,1 \cdot 8,314 \cdot 298 = 247,7 \text{ кПа.}$$

Если 1 атм. = 101,325 кПа, тогда:

$$\pi = 247,7 : 101,325 = 2,44 \text{ атм.}$$

Ответ: 247,7 кПа или 2,44 атм.

**Задача 2.** Рассчитать осмотическое давление 20% раствора натрия хлорида при температуре 273 К. Степень диссоциации натрия хлорида равна 1, а плотность раствора – 1,04 г/мл.

**Решение.** Осмотическое давление раствора электролита рассчитывают по формуле:

$$\pi = i \cdot C_M \cdot R \cdot T$$

Предварительно найдем молярную концентрацию раствора натрия хлорида и рассчитаем изотонический коэффициент:

$$C_M = \frac{\omega \cdot \rho \cdot 10}{M} = \frac{10 \cdot 1,04 \cdot 10}{58,5} = 1,78 \text{ моль/л.}$$

NaCl – это сильный электролит и диссоциирует на два иона, значит  $n=2$ , тогда:

$$i = 1 + \alpha (n - 1) = 1 + 1 (2 - 1) = 2;$$

$$\pi = 2 \cdot 1,78 \cdot 8,314 \cdot 273 = 8080 \text{ кПа.}$$

Ответ: 8080 кПа.

**Задача 3.** Вычислить понижение температуры замерзания 3,6% раствора глюкозы ( $\rho = 1,014$ ,  $k_{кр.} = 1,86 \text{ } ^\circ\text{C/m}$ ).

**Решение.** Так как глюкоза неэлектролит, то для нахождения депрессии используем формулу:

$$\Delta T_{\text{зам.}} = k_{кр.} \cdot C,$$

Предварительно найдем молярную (она же моляльная в данном случае) концентрацию раствора глюкозы:

$$C_M = \frac{\omega \cdot \rho \cdot 10}{M} = \frac{3,6 \cdot 1,014 \cdot 10}{180} = 0,2028 \text{ моль/л.}$$

Тогда:

$$\Delta T_{\text{зам.}} = k_{кр.} \cdot C = 1,86 \cdot 0,2028 = 0,38 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Ответ: 0,38  $^\circ\text{C}$



## Литература:

1. Мороз А. С, Луцевич Д. Д. Яворська Л. П. Медична хімія: підручник для студ. вищ. навч. мед. закл. – Вінниця: Нова книга, 2011. – С. 111-128.
2. Медицинская химия: учеб. / В. А. Калибачук, Л. И. Грищенко, В. И. Галинская и др.; под ред. В. А. Калилбачук. – К.: Медицина, 2008. – С. 126-141.
3. Общая химия. Биофизическая химия. Химия биогенных элементов: Учеб. для вузов / Ю. А. Ершов, В. А. Попков, А. С. Берлянд и др.: Под ред. Ю. А. Ершова. – М. Высш. шк., 2000, – С. 61-76.
4. Мороз А. С, Яворська Л. П., Луцевич Д. Д. та ін. Біофізична та колоїдна хімія. – Вінниця: Нова книга, 2007. – С. 130-150.
5. Садовничая Л. П., Хухрянский В. Г., Цыганенко А. Я. Биофизическая химия. – К.: Вища школа, 1986. – С. 49-59.
6. Ленский А. С. Введение в бионеорганическую и биофизическую химию : Учеб. пособие для студ. мед. вузов. – М.: Высш. шк., 1989. – С. 112-126.

## Занятие № 8

**ТЕМА:** Семинарское занятие по теме «Химия биогенных элементов. Комплексообразование в биологических жидкостях. Кислотно-основные равновесия в биологических жидкостях»

**ЦЕЛЬ:** Обобщить материал, проверить знания студентов по разделу и умения применять полученные знания в медико-биологических исследованиях

**Вопросы для самоподготовки студентов по изученным разделам  
медицинской химии**

### *1. Химия биогенных элементов.*

#### *Комплексообразование в биологических жидкостях*

1. Общая характеристика s-, p-, d-элементов и их соединений по положению в периодической системе элементов Д. И. Менделеева. Их химические свойства. Электронная конфигурация атомов и ионов.
2. Биологическая роль и медицинское значение s-, p-, d-элементов и их важнейших соединений.
3. Комплексные соединения. Современные представления о строении комплексных соединений, их классификация.
4. Константы нестойкости и устойчивости комплексных соединений. Внутриккомплексные соединения.

### *2. Кислотно-основные равновесия в биологических жидкостях*

1. Современные представления о растворах. Роль растворов в процессе жизнедеятельности.
2. Растворимость газов в жидкостях. Растворимость жидкостей и твердых веществ в жидкостях.
3. Равновесия в растворах электролитов. Диссоциация сильных и слабых электролитов.
4. Диссоциация воды. Ионное произведение воды. pH в биологических жидкостях.
5. Расчет величин pH растворов сильных и слабых электролитов.
6. Протолитическая теория кислот и оснований. Основные типы протолитических реакций.
7. Гидролиз солей. Степень и константа гидролиза. Роль гидролиза в биохимических процессах.
8. Буферные системы, протолитические равновесия в них. Буферная емкость. Примеры буферных систем: фосфатная, гидрокарбонатная. Расчет pH буферной системы.
9. Буферные системы организма человека: белковая, гемоглобиновая. Механизм их действия. Значение буферных систем для живых организмов.
10. Основы титриметрических методов анализа.
11. Методы кислотно-основного титрования. Титрованные растворы. Кислотно-основные индикаторы и принцип их подбора.
12. Применение методов кислотно-основного титрования в клиническом анализе и санитарно-гигиенических исследованиях.
13. Коллигативные свойства разбавленных растворов. Закон Рауля и следствия, вытекающие из него. Криометрия и эбуллиометрия.
14. Диффузия и осмос. Осмотическое давление. Закон Вант-Гоффа.
15. Плазмолиз и гемолиз.
16. Коллигативные свойства разбавленных растворов электролитов. Изотонический коэффициент.

17.Изотонический, гипертонический и гипотонический растворы в медицинской практике.

18.Роль осмоса в биологических системах.

### Литература:

1. Мороз А. С, Луцевич Д. Д. Яворська Л. П. Медична хімія: підручник для студ. вищ. навч. мед. закл. – Вінниця: Нова книга, 2011. – 776 с.
2. Медицинская химия: учеб. / В. А. Калибачук, Л. И. Грищенко, В. И. Галинская и др.; под ред. В. А. Калилбачук. – К.: Медицина, 2008. – 400 с.
3. Общая химия. Биофизическая химия. Химия биогенных элементов: Учеб. для вузов / Ю. А. Ершов, В. А. Попков, А. С. Берлянд и др.: Под ред. Ю. А. Ершова. – М. Высш. шк., 2000. – 560 с.
4. Зеленин К. Н. Химия: Учеб. для мед. вузов. – СПб: «Специальная литература», 1997. – 688 с.
5. Мороз А. С, Яворська Л. П., Луцевич Д. Д. та ін. Біофізична та колоїдна хімія. – Вінниця: Нова книга, 2007. – 600 с.
6. Левітін Є. Я., Бризицька А. М., Ключєва Р. Г. Загальна та неорганічна хімія. – Вінниця: Нова книга, 2003. – 464 с.
7. Глинка Н. Л. Общая химия. – Ленинград: Химия, 1984. – 702 с.
8. Равич-Щербо М. И., Новиков В. В. Физическая и коллоидная химия. – М.: Высш. шк., 1975. – 256 с.
9. Садовничая Л. П., Хухрянский В. Г., Цыганенко А. Я. Биофизическая химия. – К.: Вища школа, 1986. – 272 с.
10. Евстратова К. И., Купина Н. А., Малахова Е. Е. Физическая и коллоидная химия : Учеб. для фарм. вузов и факультетов / под ред. К. И. Евстратовой. – М.: Высш. шк., 1990. – 487 с.
11. Ленский А. С. Введение в бионеорганическую и биофизическую химию : Учеб. пособие для студ. мед. вузов. – М.: Высш. шк., 1989. – 256 с.

**СМЫСЛОВОЙ МОДУЛЬ 3**

**ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ И КИНЕТИЧЕСКИЕ  
ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОТЕКАНИЯ ПРОЦЕССОВ И  
ЭЛЕКТРОКИНЕТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В БИОЛОГИЧЕСКИХ  
СИСТЕМАХ**

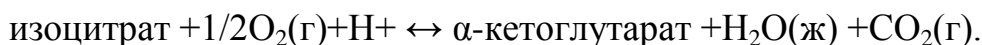
## Занятие № 9

**ТЕМА: Тепловые эффекты химических реакций. Направленность процессов**

**ЦЕЛЬ: Изучить законы химической термодинамики, как теоретической основы биоэнергетики. Уметь интерпретировать основные законы термодинамики для характеристики биологических процессов**

**Задания для самоподготовки студентов:**

1. В цикле Кребса изоцитрат превращается в  $\alpha$ -кетоглутарат:



Рассчитайте  $\Delta G$  этой реакции, если  $\Delta G^\circ_{\text{обр}}(\text{изоцитрата}) =$

$$-1166,6 \text{ кДж/моль}, \quad \Delta G^\circ_{\text{обр}}(\alpha\text{-кетоглутарата}) = -796,8 \text{ кДж/моль},$$

$$\Delta G^\circ_{\text{обр}}(\text{CO}_2) = -394,4 \text{ кДж/моль}; \quad \Delta G^\circ_{\text{обр}}(\text{H}_2\text{O}) = -237 \text{ кДж/моль}. \quad (\text{ответ: } -267,2 \text{ кДж/моль})$$

2. Определить тепловой эффект реакции синтеза диэтилового эфира, применяемого в медицине для наркоза, при 298 К:



если известны стандартные теплоты сгорания веществ:

$$\Delta H^\circ_{\text{сгор}}(\text{C}_2\text{H}_5\text{OC}_2\text{H}_5) = -2727 \text{ кДж/моль}; \quad \Delta H^\circ_{\text{сгор}}(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) =$$

$$= -1371 \text{ кДж/моль}. \quad (\text{ответ: } -15 \text{ кДж/моль})$$

3. Одним из путей метаболизма глюкозы является процесс:



Рассчитайте  $\Delta G$  реакции, если  $\Delta G^\circ(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = -917,0 \text{ кДж/моль},$

$$\Delta G^\circ(\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}) = -376 \text{ кДж/моль}, \quad \Delta G^\circ(\text{CO}_2) =$$

$$= -394,4 \text{ кДж/моль}. \quad (\text{ответ: } -247,8 \text{ кДж/моль})$$

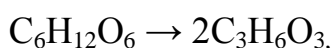
4. При отравлении угарным газом из гемоглобина (Hb) образуется карбоксигемоглобин (Hb-CO). Написать уравнение реакции разрушения карбоксигемоглобина и определить, возможно ли самопроизвольное протекание данной реакции.

$$\Delta G^{\circ}_{\text{обр.}}(\text{Hb}) = -1821,3 \text{ кДж/моль},$$

$$\Delta G^{\circ}_{\text{обр.}}(\text{Hb-CO}) = -2901 \text{ кДж/моль. (ответ: возможно)}$$

5. Возможна ли реакция:  $\text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{SO}_3 = \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ , если энергия Гиббса  $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{к})$   $-1576,4$  кДж/моль,  $\text{SO}_3$   $-370,37$  кДж/моль,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$   $-3091,9$  кДж/моль? (ответ:  $-404,39$  кДж/моль, реакция возможна)

6. Вычислить энергию Гиббса для реакции гликолиза:

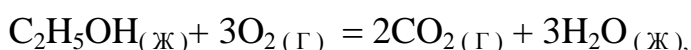


$$\text{если } \Delta G(\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3) = -539 \text{ кДж/моль, а } \Delta G(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) =$$

$$= -917 \text{ кДж/моль. (ответ: } -161 \text{ кДж/моль)}$$

7. Проверьте, нет ли угрозы, что азот(I) оксид, применяемый в медицине в качестве средства для наркоза, будет окисляться кислородом воздуха до токсичного азот(II) оксида, если  $\Delta G^{\circ}_{\text{обр.}}(\text{N}_2\text{O}) = 104$  кДж/моль, а  $\Delta G^{\circ}_{\text{обр.}}(\text{NO}) = 87$  кДж/моль. (ответ:  $\Delta G = 140$  кДж/моль, реакция невозможна)

8. Рассчитать значение энтальпии реакции окисления этанола в организме человека:



если стандартные теплоты образования диоксида углерода, этанола и воды соответственно равны:  $-393,5$  кДж/моль,  $-277,6$  кДж/моль,  $-285,84$  кДж/моль. (ответ:  $-1366,92$  кДж/моль)

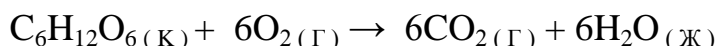
9. Рассчитать значение энтальпии реакции гидролиза мочевины:



если стандартные теплоты образования мочевины, диоксида углерода и воды соответственно равны:  $-333,3$  кДж/моль,

$-393,5$  кДж/моль,  $-285,84$  кДж/моль. (ответ:  $225,64$  кДж/моль)

10. Рассчитать значение энтальпии реакции окисления глюкозы в организме человека:



если  $\Delta H^\circ_{\text{обр.}}$  глюкозы:  $-1272,45$  кДж/моль, углекислого газа:

$-393,6$  кДж/моль, воды:  $-285,84$  кДж/моль. (ответ:  $-2804,55$  кДж/моль)

11. Рассчитать тепловой эффект реакции образования метана ( $\text{CH}_4$ ), если известны энтальпии сгорания метана, водорода и углерода :  $-890$  кДж/моль.,  $-286$  кДж/моль, и  $-394$  кДж/моль. (ответ:  $-76$  кДж/моль)

12. Вычислить тепловой эффект реакции образования ацетилен ( $\text{C}_2\text{H}_2$ ) из бензола ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ), если известны значения теплот сгорания бензола:  $-2364,5$  кДж/моль и ацетилена:  $-1299,6$  кДж/моль. (ответ:  $634,3$  кДж/моль)

13. Вычислить изменение энергии Гиббса в процессе усвоения в организме человека сахарозы, который сводится к ее окислению:  $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} (\text{к}) + 11\text{O}_2 (\text{г}) \rightarrow 12\text{CO}_2 (\text{г}) + 11\text{H}_2\text{O} (\text{ж})$ ;  
 $\Delta G^\circ_{\text{обр.}} (\text{CO}_2) = -394,4$  кДж/моль,  
 $\Delta G^\circ_{\text{обр.}} (\text{H}_2\text{O}) = -237$  кДж/моль. (ответ:  $-5794$  кДж/моль)

14. Рассчитать тепловой эффект реакции

$2\text{KNO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{K}_2\text{SO}_4 + 2\text{HNO}_3$ , если стандартные энтальпии веществ равны:  $\Delta H^\circ (\text{KNO}_3) = -492,5$ ,  $\Delta H^\circ (\text{HNO}_3) = -133,9$ ,  $\Delta H^\circ (\text{K}_2\text{SO}_4) = -1433,7$ ,  $\Delta H^\circ (\text{H}_2\text{SO}_4) = -814,0$  кДж/моль. (ответ:  $97,5$  кДж/моль)



15. В процессе восстановления муравьиного альдегида (формальдегида) водородом протекает следующая реакция:

$\text{CH}_2\text{O}(\text{г}) + \text{H}_2(\text{г}) \rightarrow \text{CH}_3\text{OH}(\text{ж})$ . Вычислить энтальпию реакции, если теплоты образования формальдегида, водорода и метанола равны:  $-115,9$  кДж/моль,  $-286$  кДж/моль,  $-227,6$  кДж/моль.

### Примеры выполнения заданий:

**Задание 1.** Возможно ли самопроизвольное протекание реакции  $\text{Hg}_2\text{Cl}_2 \rightarrow \text{HgCl}_2 + \text{Hg}$ , если энергии Гиббса  $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$  и  $\text{HgCl}_2$  равны соответственно  $-210,66$  и  $-185,77$  кДж/моль?

#### *Решение.*

Напишем уравнение энергии Гиббса для реакции

$$\Delta G = \sum \Delta G^\circ_{\text{прод.}} - \sum \Delta G^\circ_{\text{исх}}$$

Подставляем данные из условия задачи:

$$\Delta G = -185,77 - (-210,66) = 24,89 \text{ кДж/моль.}$$

Ответ: реакция не возможна, поскольку изменение энергии Гиббса больше нуля ( $\Delta G > 0$ ).

**Задание 2.** Рассчитать тепловой эффект реакции:

$\text{CaC}_2(\text{т}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{ж}) = \text{Ca}(\text{OH})_2(\text{т}) + \text{C}_2\text{H}_2(\text{г})$ , если теплоты образования карбида кальция, гидроксида кальция, воды и ацетилена равны соответственно:  $-62,8$  кДж/моль,  $-986,6$  кДж/моль,  $-285,84$  кДж/моль,  $52,25$  кДж/моль

**Решение.**

Используем уравнение первого следствия закона Гесса:

$$\Delta H = \sum \Delta H^{\circ}_{\text{прод.}} - \sum \Delta H^{\circ}_{\text{исх.}}$$

Подставляем данные из условия задачи с учетом стехиометрических коэффициентов:

$$\begin{aligned}\Delta H &= (-986,6 + 52,25) - (-62,8 + 2(-285,84)) = \\ &= -934,35 - (-634,48) = -299,87 \text{ кДж/моль}\end{aligned}$$

Ответ:  $-299,87$  кДж/моль

**Литература:**

1. Мороз А. С, Луцевич Д. Д. Яворська Л. П. Медична хімія: підручник для студ. вищ. навч. мед. закл. – Вінниця: Нова книга, 2011. – С. 366-418.
2. Медицинская химия: учеб. / В. А. Калибабчук, Л. И. Грищенко, В. И. Галинская и др.; под ред. В. А. Калибабчук. – К.: Медицина, 2008. – С. 59-80.
3. Ленский А. С. Введение в бионеорганическую и биофизическую химию: Учеб. пособие для студ. мед. вузов. – М.: Высш. шк., 1989. – С. 151-160.
4. Равич-Щербо М. И., Новиков В. В. Физическая и коллоидная химия. – М.: Высш. шк., 1975. – С. 10-21.
5. Садовнича Л. П., Хухрянский В. Г., Цыганенко А. Я. Биофизическая химия. – К.: Вища школа, 1986. – С. 8-29, 35-37.

## Занятие № 10

### ТЕМА: Кинетика биохимических реакций

**ЦЕЛЬ:** Изучить законы и правила кинетики и уметь интерпретировать их для характеристики биологических процессов

#### Задания для самоподготовки студентов:

1. Во сколько раз изменится скорость химической реакции  
$$\text{N}_2(\text{г}) + 3\text{H}_2(\text{г}) \rightarrow 2\text{NH}_3(\text{г}),$$
 если концентрацию  $\text{H}_2$  увеличить в 2 раза? (ответ: 8 раз)
2. Как изменится скорость реакции  $\text{C}_2 + 2\text{D} \rightarrow 2\text{CD}$ , которая протекает в закрытом сосуде, если давление в системе увеличить в 4 раза? (ответ: увеличится в 64 раза)
3. Как изменится скорость химической реакции  
$$\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_3,$$
 если концентрацию кислорода уменьшить в 2 раза? (ответ: уменьшится в 2 раза)
4. Во сколько раз изменится скорость реакции  
$$\text{CO}(\text{г}) + \text{O}_2(\text{г}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{г}),$$
 если давление в системе уменьшить в 3 раза? (ответ: скорость уменьшится в 27 раз)
5. Во сколько раз увеличится скорость реакции, если температуру повысить на  $40^\circ\text{C}$  ( $\gamma = 3$ )? (ответ: в 81 раз)
6. При увеличении температуры на  $30^\circ\text{C}$  скорость реакции увеличилась в 27 раз. Вычислить температурный коэффициент реакции. (ответ:  $\gamma = 3$ ).

7. Во сколько раз изменится скорость реакции, если температура в ходе реакции изменилась с 25°C до 55°C, а температурный коэффициент равен 2? (ответ: 8 раз)
8. Во сколько раз увеличится скорость химической реакции при повышении температуры с 0 до 50 °C, принимая температурный коэффициент скорости ( $\gamma$ ) равным 3? (ответ: в 243 раза)
9. Во сколько раз увеличится скорость химической реакции при повышении температуры с 20°C до 80°C? Температурный коэффициент скорости ( $\gamma$ ) равен 2. (ответ: в 64 раза)
10. Во сколько раз изменится скорость химической реакции  
 $\text{NO}(\text{г}) + \text{Cl}_2(\text{г}) \rightarrow \text{NOCl}(\text{г})$ , если концентрацию NO увеличить в 2раза?  
(ответ: увеличится в 4 раза)
11. Как изменится скорость реакции  $2\text{A} + \text{B}_2 \rightarrow 2\text{AB}$ , которая протекает в закрытом сосуде, если давление в системе увеличить в 5 раз? (ответ: увеличится в 125 раз)
12. Во сколько раз изменится скорость реакции  
 $2\text{NO}(\text{г}) + \text{Cl}_2(\text{г}) \rightarrow 2\text{NOCl}(\text{г})$ , если давление в системе уменьшить в 4 раза?  
(ответ: уменьшится в 64 раза)
13. Константа скорости реакции  $\text{C} + 2\text{D} \rightarrow \text{K}$  составляет 0,4 л<sup>2</sup>/моль·с. Концентрация вещества C = 2 моль/л, а вещества D = 3 моль/л. Вычислить скорость прямой реакции. (ответ: 7,2 моль/с)
14. Во сколько раз увеличится скорость реакции, если температуру повысить на 40°C ( $\gamma = 4$ )? (ответ: в 246 раз).

15. При увеличении температуры на 20°C скорость реакции увеличилась в 16 раз. Вычислить температурный коэффициент реакции. (ответ:  $\gamma = 4$ )?

**Примеры выполнения заданий:**

**Задание 1.** Как изменится скорость реакции  $2\text{NO}(\text{г}) + \text{Cl}_2(\text{г}) \rightarrow 2\text{NOCl}(\text{г})$ , если концентрацию всех реагентов увеличить в 2 раза?

**Решение.** Из закона действующих масс скорость реакции равна:

$$v = k[\text{NO}]^2 \cdot [\text{Cl}_2].$$

При увеличении концентрации NO в 2 раза:

$$v = k[2\text{NO}]^2 \cdot [2\text{Cl}_2] = 8k[\text{NO}]^2 \cdot [\text{Cl}_2].$$

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{8k[\text{NO}]^2 \cdot [\text{O}_2]}{k[\text{NO}]^2 \cdot [\text{O}_2]} = 8.$$

Ответ: увеличится в 8 раз.

**Задание 2.** Во сколько раз изменится скорость реакции, если температура в ходе реакции изменилась с 18°C до 38°C, а температурный коэффициент равен 3?

**Решение.**

$$\frac{v_2}{v_1} = \gamma^{\frac{t_2 - t_1}{10}} = 3^{\frac{38 - 18}{10}} = 3^2 = 9.$$

Ответ: в 9 раз.

## Литература:

1. Мороз А. С, Луцевич Д. Д. Яворська Л. П. Медична хімія: підручник для студ. вищ. навч. мед. закл. – Вінниця: Нова книга, 2011. – С. 420-487.
2. Медицинская химия: учеб. / В. А. Калибабчук, Л. И. Грищенко, В. И. Галинская и др.; под ред. В. А. Калибабчук. – К.: Медицина, 2008. – С. 82-98.
3. Общая химия. Биофизическая химия. Химия биогенных элементов: Учеб. для вузов / Ю. А. Ершов, В. А. Попков, А. С. Берлянд и др.: Под ред. Ю. А. Ершова. – М. Высш. шк., 2000, – С. 391-422.
4. Зеленин К. Н. Химия: Учеб. для мед. вузов. – СПб: «Специальная литература», 1997. – С. 92-106.
5. Ленский А. С. Введение в бионеорганическую и биофизическую химию : Учеб. пособие для студ. мед. вузов. – М.: Высш. шк., 1989. – С. 55-79.
6. Садовнича Л. П., Хухрянский В. Г., Цыганенко А. Я. Биофизическая химия. – К.: Вища школа, 1986. – С. 140-165.

## Занятие № 11

### ТЕМА: Химическое равновесие. Произведение растворимости

**ЦЕЛЬ:** Научиться определять направление химических реакций и оценивать действие различных факторов на протекание химических процессов

#### Задания для самоподготовки студентов:

1. Рассчитайте константу равновесия для обратимой реакции  $2\text{NO} + \text{O}_2 \leftrightarrow 2\text{NO}_2$ , если в состоянии равновесия  $[\text{NO}] = 0,056$  моль/л,  $[\text{O}_2] = 0,02$  моль/л,  $[\text{NO}_2] = 0,044$  моль/л. (ответ: 30,87)
2. Равновесие в системе  $2\text{A} + \text{B} \leftrightarrow 3\text{C} + \text{D}$  установилась при таких равновесных концентрациях А, В, С и D соответственно: 2,5; 1; 1,7; 0,8 моль/л. Рассчитать константу равновесия. (ответ: 1,59)
3. Метилловый эфир метоксиуксусной кислоты (промежуточный продукт синтеза витамина В<sub>6</sub>) получают по реакции:  
 $\text{CH}_3\text{OCH}_2\text{COOH} + \text{CH}_3\text{OH} \leftrightarrow \text{CH}_3\text{OCH}_2\text{COOCH}_3 + \text{H}_2\text{O}$ . Вычислить константу равновесия  $K_p$  реакции, если на момент равновесия из 1 моль кислоты и 1 моль спирта образовалось 0,562 моль сложного эфира. (ответ: 1,646)
4. В печени протекает ферментативный обратимый процесс:  
глюкозо – 1 – фосфат  $\leftrightarrow$  глюкозо – 6 – фосфат. При 37<sup>0</sup>С концентрация глюкозо – 1 – фосфат равна 0,001 моль/л, а глюкозо – 6 – фосфата - 0,019 моль/л. Вычислить  $K_p$ . (ответ: 19)
5. В каком направлении сместится равновесие реакции

$2\text{NO} + \text{O}_2 \leftrightarrow 2\text{NO}_2$ , если концентрации всех веществ уменьшить в 4 раза.  
(ответ: в сторону обратной реакции)

6. Для реакции: L-глутаминовая кислота + пируват  $\leftrightarrow$   $\alpha$ -кетоглутаровая кислота + L-аланин, константа равновесия при 30°C равна 1,11. В каком направлении будет идти реакция при следующих концентрациях: L-глутаминовая кислота и пируват по 0,00003 моль/л,  $\alpha$ -кетоглутаровая кислота и L-аланин по 0,005 моль/л? (ответ: в обратном направлении).

7. В водном растворе метиламин является основанием:

$\text{CH}_3\text{NH}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{CH}_3\text{NH}_3^+ + \text{OH}^-$ . Вычислить константу равновесия, если исходная концентрация метиламина равна 0,1 моль/л, а концентрация гидроксид-иона после установления равновесия равна  $6,6 \cdot 10^{-3}$  моль/л.  
(ответ:  $4,7 \cdot 10^{-4}$ )

8. В каком направлении сместится равновесие реакции

$\text{CO} + \text{H}_2 \leftrightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}_2$ , если концентрации всех веществ уменьшить в 2 раза? (ответ: в обратном направлении).

9. Константа равновесия реакции  $\text{N}_2\text{O}_4 \leftrightarrow \text{NO}_2$  равна 0,26. Равновесная концентрация  $\text{NO}_2$  равна 0,28 моль/л. Вычислить равновесную и исходную концентрацию  $\text{N}_2\text{O}_4$ . (ответ: 0,44 моль/л)

10. Вычислить произведение растворимости кальция оксалата  $\text{CaC}_2\text{O}_4$  если растворимость этой соли  $4,47 \cdot 10^{-4}$  моль/л.

11. Вычислить произведение растворимости фосфата серебра  $-\text{Ag}_3\text{PO}_4$ , если растворимость этой соли  $1,6 \cdot 10^{-5}$  моль/л.



12. Рассчитать растворимость  $\text{BaSO}_4$  и концентрации ионов  $[\text{Ba}^{2+}]$  и  $[\text{SO}_4^{2-}]$  если ПР данного вещества  $1,1 \cdot 10^{-10}$ .
13. Произведение растворимости хлорида свинца при  $25^\circ\text{C}$  равно  $1,6 \cdot 10^{-5}$ . Определите концентрацию насыщенного раствора  $\text{PbCl}_2$  при этой температуре.
14. Вычислить произведения растворимости карбоната кальция и карбоната магния, если растворимости этих солей в г/100 мл равны соответственно  $6,5 \cdot 10^{-3}$  и  $1,2 \cdot 10^{-3}$ .
15. Рассчитать произведения растворимости  $\text{CaSO}_3$  и  $\text{PbSO}_4$ , если растворимости данных веществ равны  $4,3 \cdot 10^{-3}$  и  $4,1 \cdot 10^{-3}$  г/100 мл.
16. Чему равна растворимость в воде иодида свинца в моль/л и г/л при  $25^\circ\text{C}$ , если ПР этой соли  $8,1 \cdot 10^{-9}$ ?
17. Вычислить растворимость кальция сульфата ( $\text{CaSO}_4$ ), кальция фторида ( $\text{CaF}_2$ ) и кальция гидрофосфата ( $\text{CaHPO}_4$ ), в моль/л, если произведения растворимости этих солей равны  $6,3 \cdot 10^{-5}$ ;  $4,0 \cdot 10^{-11}$ ;  $2,7 \cdot 10^{-7}$ . Какая из солей является наиболее растворимой? Наименее растворимой?
18. Вычислить произведение растворимости цинка сульфида –  $\text{ZnS}$ , если растворимость этой соли  $1,26 \cdot 10^{-12}$  моль/л.
19. Используя справочные данные о произведении растворимости расположите в порядке возрастания их растворимости в воде гидроксиды железа (III), железа (II), магния, цинка, меди. Ответ обоснуйте.

20. Вычислить растворимость хлорида, бромида и йодида серебра в моль/л и в г/100 мл, если произведения растворимости этих солей соответственно равны  $1,8 \cdot 10^{-10}$ ;  $5,3 \cdot 10^{-13}$  и  $1,1 \cdot 10^{-16}$ .

**Примеры выполнения заданий:**

**Задача 1.** В какую сторону смещается химическое равновесие реакции  $N_2 + 3H_2 \leftrightarrow 2NH_3$ , если давление в системе увеличить в 3 раза?

**Решение.** Константа равновесия до изменения давления:

$$K_{p_1} = \frac{[NH_3]^2}{[N_2] \cdot [H_2]^3}$$

При увеличении давления в 3 раза концентрация всех веществ также увеличилась в 3 раза. Константа равновесия после изменения давления:

$$K_{p_2} = \frac{[3NH_3]^2}{[3N_2] \cdot [3H_2]^3} = \frac{3^2}{3 \cdot 3^3} = \frac{1}{9}$$

Отношение констант равновесия:

$$\frac{K_{p_1}}{K_{p_2}} = \frac{1 \cdot 9}{1} = 9$$

Ответ: константа равновесия увеличится в 9 раз, потому химическое равновесие сместится в направлении прямой реакции.

**Задача 2.** В системе  $2NO + O_2 \leftrightarrow 2NO_2$  равновесные концентрации веществ составляют  $[NO]=0,2$  моль/л,  $[O_2]=0,3$  моль/л,  $[NO_2]=0,4$  моль/л. Вычислите константу равновесия.

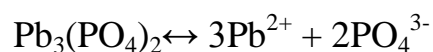
**Решение.** Константа равновесия:

$$K_p = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{NO}]^2 \cdot [\text{O}_2]} = \frac{0,4^2}{0,2^2 \cdot 0,3} = \frac{0,16}{0,012} = 13,3.$$

Ответ: 13,3.

**Задача 3.** Вычислить произведение растворимости фосфата свинца –  $\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_2$ , если растворимость этой соли  $1,5 \cdot 10^{-9}$  моль/л.

**Решение.**  $\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_2$  диссоциирует по уравнению:



Концентрации ионов в растворе составляют:

$$[\text{Pb}^{2+}] = 3 \cdot 1,5 \cdot 10^{-9} = 4,5 \cdot 10^{-9} \text{ моль/л};$$

$$[\text{PO}_4^{3-}] = 2 \cdot 1,5 \cdot 10^{-9} = 3 \cdot 10^{-9} \text{ моль/л};$$

ПР вычисляем по формуле:

$$\text{ПР} = [\text{Pb}^{2+}]^3 \cdot [\text{PO}_4^{3-}]^2;$$

$$\text{ПР}_{\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_2} = (4,5 \cdot 10^{-9})^3 \cdot (3 \cdot 10^{-9})^2 = 8,2 \cdot 10^{-43}.$$

Ответ:  $8,2 \cdot 10^{-43}$ .

## Литература:

1. Мороз А. С, Луцевич Д. Д. Яворська Л. П. Медична хімія: підручник для студ. вищ. навч. мед. закл. – Вінниця: Нова книга, 2011. – С. 176-184, 414-419.
2. Медицинская химия: учеб. / В. А. Калибабчук, Л. И. Грищенко, В. И. Галинская и др.; под ред. В. А. Калибабчук. – К.: Медицина, 2008. – С. 98-105, 179-189.
3. Общая химия. Биофизическая химия. Химия биогенных элементов: Учеб. для вузов / Ю. А. Ершов, В. А. Попков, А. С. Берлянд и др.: Под ред. Ю. А. Ершова. – М. Высш. шк., 2000. – С. 32-40, 129-131.
4. Зеленин К. Н. Химия: Учеб. для мед. вузов. – СПб: «Специальная литература», 1997. – С. 121-126, 226-234.
5. Ленский А. С. Введение в бионеорганическую и биофизическую химию: Учеб. пособие для студ. мед. вузов. – М.: Высш. шк., 1989. – С. 80-92.

## Занятие № 12

**ТЕМА: Определение окислительно-восстановительного потенциала**

**ЦЕЛЬ: Научиться использовать представления про окислительно-восстановительные потенциалы для объяснения биологического окисления в живых организмах**

**Задания для самоподготовки студентов:**

1. Потенциал водородного электрода, погруженного в исследуемый раствор в стандартных условиях, равен  $-0,267$  В. Вычислить рН этого раствора. (ответ: 4,5)
2. Рассчитать потенциал водородного электрода, погруженного в раствор, рН которого составляет 5,2. (ответ:  $-0,307$  В.)
3. Потенциал водородного электрода, погруженного в исследуемый раствор, равен  $-0,188$  В. Вычислить рН этого раствора и реальный потенциал электрода сравнения, если ЭДС системы равно нулю. (ответ: 3,2,  $-0,188$  В.)
4. Рассчитать потенциал стеклянного электрода ( $K = -0,56$ ), погруженного в раствор с концентрацией ионов водорода  $10^{-3}$ . (ответ:  $-0,383$  В.)
5. Рассчитать величину стандартного окислительно-восстановительного потенциала, если  $E_{p\text{ Ox/Red}} = -0,33$  В, а в системе находится 80% окисленной

формы и 20% восстановленной формы вещества. В реакции перераспределяются 2 электрона. (ответ:  $-0,348$  В.)

6. Рассчитать ЭДС системы, если потенциалы индикаторного и стандартного электродов равны  $-0,15$  В. и  $0,228$  В соответственно. (ответ:  $0,378$  В.)

7. Для определения pH использовали гальванический элемент из хлорсеребряного и водородного электродов и измерили ЭДС, которая составила  $0,465$  В. Рассчитать реальный потенциал хлорсеребряного электрода, если концентрация ионов водорода в растворе составляет  $0,001$  моль/л.

(ответ:  $0,288$  В.)

8. Рассчитать реальный потенциал индикаторного электрода, если реальный потенциал электрода сравнения  $0,201$  В, а ЭДС системы  $0,325$  В. (ответ:  $-0,124$  В.)

9. ЭДС гальванического элемента, состоящего из водородного и хлорсеребряного электродов равна  $0,232$  В. Концентрация ионов водорода в растворе  $10^{-5}$ . Определить реальный потенциал хлорсеребряного электрода. (ответ:  $-0,063$  В.)

10. Вычислить  $E_p$  окислительно-восстановительной системы  $I_2/2I^-$ , если концентрация  $I_2$  составляет  $0,1$  моль/л, концентрация  $I^-$  –  $0,02$  моль/л, а стандартный окислительно-восстановительный потенциал пары равен  $0,535$  В. (ответ:  $0,555$  В)

11. Рассчитайте  $E^0$  для окислительно-восстановительной пары  $BrO_3^-/Br^-$  в полуреакции:  $BrO_3^- + 6H^+ \rightleftharpoons Br^- + 3H_2O$ , если ее  $E_p = 1,463$  В, концентрации окисленной и восстановленной форм –  $0,01$  и  $0,001$  моль/л, а

концентрация ионов водорода равна 1 моль/л. (ответ: 1,45 В)

12. Рассчитайте соотношение окисленной и восстановленной форм для окислительно-восстановительной системы  $I_2/ I^-$ , если ее  $E^0 = 0,54$  В,  $E_p = 0,599$  В. (ответ: 100)
13. Рассчитайте реальный ОВ потенциал редокс-пары в данной полуреакции:  $2S_2O_3^{2-} \leftrightarrow S_4O_6^{2-}$ , если стандартный ОВ потенциал составляет 0,09 В, а соотношение концентрация окисленной формы больше концентрации восстановленной формы в 50 раз. (ответ: 0,140 В.)
14. Рассчитайте реальный ОВ потенциал редокс-системы  $Ce^{4+}/Ce^{3+}$ , если стандартный ОВ потенциал этой редокс-пары равен 1,44 В. а концентрации окисленной и восстановленной форм равны 0,1 и 0,001 соответственно. (ответ: 1,56 В.)
15. Для определения рН крови использовали систему из хлорсеребряного и стеклянного ( $K = -0,87$ ) электродов. Измерили ЭДС, которая составила 0,634. Потенциал хлорсеребряного электрода равен 0,201 В. Рассчитать рН крови. (ответ: 7,4)

### **Примеры выполнения заданий:**

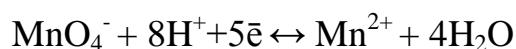
**Задание 1.** Рассчитать значение реального окислительно-восстановительного потенциала для редокс-пары  $MnO_4^-/Mn^{2+}$ , участвующей в полуреакции:  $MnO_4^- + 8H^+ \leftrightarrow Mn^{2+} + 4H_2O$ , если концентрации окисленной и восстановленной формы составляют 0,2 и 0,002 моль/л,  $E^0 = 1,51$  В, а рН=0.

**Решение.**

$E_p$  можно рассчитать из уравнения Нернста:

$$E_{p_{\text{Ox/Red}}} = E_{\text{Ox/Red}}^0 + \frac{0,059}{n} \cdot \lg \frac{[\text{Ox}]}{[\text{Red}]}$$

Исходя из уравнения реакции определяем, что в реакции перераспределяется 5 электронов, окисленной формой является  $\text{MnO}_4^-$ , который восстанавливается до  $\text{Mn}^{2+}$ :



Так как в данной полуреакции принимают участие ионы водорода, то необходимо учитывать их концентрацию, которую рассчитывают по формуле:

$$[\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^0 = 1 \text{ моль/л}$$

Тогда:

$$E_{\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}} = E_{\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}}^0 + \frac{0,059}{5} \lg \frac{[\text{MnO}_4^-] \cdot [\text{H}^+]^8}{[\text{Mn}^{2+}]}$$

$$E_{\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}} = 1,51 + \frac{0,059}{5} \lg \frac{[0,2] \cdot [1]^8}{[0,002]} = 1,534 \text{ В.}$$

Ответ: 1,534 В.

**Задание 2.** При помощи гальванического элемента из хлорсеребряного и водородного электродов измерили pH раствора, которое составило 6,52. ЭДС системы равно 0,635 В при температуре 298°К. Рассчитайте потенциал хлорсеребряного электрода 0,201 В.

**Решение.** Сначала необходимо рассчитать реальный потенциал водородного электрода:



$$E_{2\text{H}^+|\text{H}_2\uparrow} = -0,059\text{pH} = -0,059 \cdot 6,52 = -0,385 \text{ В.}$$

Тогда значение потенциала хлорсеребряного электрода легко вычислить из формулы расчета ЭДС:

$$\text{ЭДС} = E_{\text{ст.эл.}} - E_{\text{инд.эл.}},$$

что в данном случае имеет вид:

$$\text{ЭДС} = E_{\text{Ag}|\text{AgCl},\text{KCl}} - E_{2\text{H}^+|\text{H}_2\uparrow}$$

Подставляем в формулу имеющиеся данные:

$$0,635 = E_{\text{Ag}|\text{AgCl},\text{KCl}} + 0,385,$$

$$E_{\text{Ag}|\text{AgCl},\text{KCl}} = 0,635 - 0,385 = 0,250 \text{ В.}$$

Ответ: 0,250 В.

**Задание 3.** Рассчитать потенциал стеклянного электрода ( $K = -0,85$ ), погруженного в раствор, pH которого составляет 2,8.

**Решение.** Потенциал стеклянного электрода рассчитывают по формуле:

$$E_p = K + 0,059\text{pH}$$

Отсюда:

$$E_p = -0,85 + 0,059 \cdot 2,8 = -0,685 \text{ В.}$$

Ответ:  $-0,685 \text{ В.}$

## Литература:

1. Мороз А. С, Луцевич Д. Д. Яворська Л. П. Медична хімія: підручник для студ. вищ. навч. мед. закл. – Вінниця: Нова книга, 2011. – С. 506-551.
2. Медицинская химия: учеб. / В. А. Калибабчук, Л. И. Грищенко, В. И. Галинская и др.; под ред. В. А. Калибабчук. – К.: Медицина, 2008. – С. 195-215.
3. Ленский А. С. Введение в бионеорганическую и биофизическую химию: Учеб. пособие для студ. мед. вузов. – М.: Высш. шк., 1989. – С. 231-238.

**СМЫСЛОВОЙ МОДУЛЬ 4**

**ФИЗИКО-ХИМИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ЯВЛЕНИЙ. ЛИОФОБНЫЕ И  
ЛИОФИЛЬНЫЕ  
ДИСПЕРСНЫЕ СИСТЕМЫ**

## Занятие № 13

**ТЕМА: Сорбция биологически активных веществ на границе раздела фаз**

**ЦЕЛЬ: Сформировать общие представления о сорбционных процессах и закономерностях, происходящих в межфазном поверхностном слое**

**Задания для самоподготовки студентов:**

1. Рассчитать площадь, которую занимает ПАВ, если предельная адсорбция составляет  $8,3 \cdot 10^{-6}$  моль/м<sup>2</sup>. (ответ:  $2,0 \cdot 10^{-19}$ )
2. Вычислить длину молекулы масляной кислоты, если площадь, которую занимает одна молекула в поверхностном слое  $S_0 = 3,2 \cdot 10^{-10}$  м<sup>2</sup>,  $\rho = 978$  кг/м<sup>3</sup>,  $M = 0,088$  кг/моль. (ответ:  $4,7 \cdot 10^{-10}$ )
3. Рассчитать длину молекулы ПАВ, если предельная адсорбция равна  $8,5 \cdot 10^{-6}$  моль/м<sup>2</sup>, молярная масса вещества – 0,074 кг/моль, плотность – 800 кг/м<sup>3</sup>. (ответ:  $7,9 \cdot 10^{-10}$ )
4. Определить величину адсорбции при 25°C для раствора, содержащего 0,1 моль/м<sup>3</sup> капроновой кислоты C<sub>6</sub>H<sub>13</sub>COOH. Поверхностное натяжение воды при данной температуре  $72,75 \cdot 10^{-3}$  Н/м, а исследуемого раствора  $51,2 \cdot 10^{-3}$  Н/м. (ответ:  $8,6 \cdot 10^{-6}$ )
5. Определить величину предельной адсорбции ПАВ, если площадь, приходящаяся на одну молекулу в адсорбционном слое, равна  $3,37 \cdot 10^{-17}$  м<sup>2</sup>. (ответ:  $4,9 \cdot 10^{-7}$ )

6. Определите площадь, занимаемую одной молекулой ПАВ, если длина молекулы –  $7,9 \cdot 10^{-10}$  м, плотность –  $787 \text{ кг/м}^3$ , молярная масса вещества –  $0,095 \text{ кг/моль}$ . (ответ:  $2,55 \cdot 10^{-19}$ )
7. Определить величину адсорбции при  $20^\circ\text{C}$  для раствора, содержащего  $2 \text{ моль/м}^3$  энантовой кислоты. Поверхностное натяжение воды при данной температуре  $72,75 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$ , а исследуемого раствора  $67,0 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$ . (ответ:  $2,36 \cdot 10^{-6}$ )
8. Пользуясь правилом Дюкло-Траубе, определить во сколько раз поверхностная активность гептанола  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}_2\text{OH}$  больше поверхностной активности этанола  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ . (ответ: в 335 раз)
9. Проверьте правило Дюкло-Траубе для разбавленных растворов насыщенных органических кислот, если поверхностная активность стеариновой кислоты ( $\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COOH}$ )  $23,49 \text{ Н}\cdot\text{м/моль}$ , а каприновой кислоты ( $\text{C}_9\text{H}_{19}\text{COOH}$ ) –  $21,37 \cdot 10^{-3} \text{ Н}\cdot\text{м/моль}$ .
10. Пользуясь правилом Дюкло-Траубе, определите во сколько раз поверхностная активность валериановой кислоты ( $\text{C}_4\text{H}_9\text{COOH}$ ) меньше поверхностной активности пальмитиновой кислоты ( $\text{C}_{15}\text{H}_{31}\text{COOH}$ ). (ответ: в 360000 раз)
11. Проверьте правило Дюкло-Траубе для разбавленных растворов насыщенных органических кислот, если поверхностная активность капроновой кислоты ( $\text{C}_6\text{H}_{13}\text{COOH}$ )  $4,85 \cdot 10^{-3} \text{ Н}\cdot\text{м/моль}$ , а каприловой ( $\text{C}_7\text{H}_{15}\text{COOH}$ ) –  $17,01 \cdot 10^{-3} \text{ Н}\cdot\text{м/моль}$ .

12. Пользуясь правилом Дюкло-Траубе, определите во сколько раз поверхностная активность масляной кислоты ( $C_3H_7COOH$ ) меньше поверхностной активности капроновой кислоты ( $C_6H_{13}COOH$ ). (ответ: в 32,77 раз)

**Примеры выполнения заданий:**

**Задача 1.** Пользуясь правилом Дюкло-Траубе, определить во сколько раз поверхностная активность пальмитиновой кислоты ( $C_{15}H_{31}COOH$ ) больше поверхностной активности каприловой кислоты ( $C_7H_{15}COOH$ ).

**Решение.** Согласно правилу Дюкло-Траубе при увеличении углеводородного радикала на одну метиленовую группу  $-CH_2-$  поверхностная активность увеличивается в среднем в 3,2 раза.

$$\frac{\xi_{C_{15}H_{31}COOH}}{\xi_{C_7H_{15}COOH}} = 3,2^8 = 10995$$

Ответ: в 10995 раз.

**Задача 2.** Вычислить длину молекулы ПАВ, если площадь, которую занимает одна молекула в поверхностном слое  $S_0 = 2,8 \cdot 10^{-17} \text{ м}^2$ ,  $\rho = 888 \text{ кг/м}^3$ ,  $M = 0,073 \text{ кг/моль}$

**Решение.** Сначала вычисляем величину предельной адсорбции по формуле:

$$\Gamma_{\infty} = \frac{1}{S_0 \cdot N_A};$$

$$\Gamma_{\infty} = \frac{1}{2,8 \cdot 10^{-17} \cdot 6,02 \cdot 10^{23}} = 5,93 \cdot 10^{-8} \text{ моль/м}^2.$$

Рассчитываем длину молекулы по формуле:

$$l = \frac{\Gamma_{\infty} \cdot M}{\rho};$$

$$l = \frac{5,93 \cdot 10^{-8} \cdot 0,073}{888} = 4,87 \cdot 10^{-12} \text{ м.}$$

Ответ:  $4,87 \cdot 10^{-12}$  м.

**Задача 3.** Определить величину адсорбции при 15°C для раствора, содержащего 0,05 моль/л валериановой кислоты. Поверхностное натяжение воды при данной температуре  $74,2 \cdot 10^{-3}$  Н/м, а исследуемого раствора  $63 \cdot 10^{-3}$  Н/м.

**Решение.** Величину адсорбции на границе жидкость – газ рассчитывают по уравнению Гиббса:

$$\Gamma = - \frac{C_M}{R \cdot T} \cdot \frac{\Delta\sigma}{\Delta C}$$

$$\Gamma = - \frac{0,05}{8,31 \cdot 288} \cdot \frac{(63 \cdot 10^{-3} - 74,2 \cdot 10^{-3})}{(0,05 - 0)} = 4,68 \cdot 10^{-6} \text{ моль/м}^2.$$

Ответ:  $4,68 \cdot 10^{-6}$  моль/м<sup>2</sup>.

## Литература:

1. Мороз А. С, Луцевич Д. Д. Яворська Л. П. Медична хімія: підручник для студ. вищ. навч. мед. закл. – Вінниця: Нова книга, 2011. – С. 562-594.
2. Медицинская химия: учеб. / В. А. Калибабчук, Л. И. Грищенко, В. И. Галинская и др.; под ред. В. А. Калибабчук. – К.: Медицина, 2008. – С. 217-244.
3. Общая химия. Биофизическая химия. Химия биогенных элементов: Учеб. для вузов / Ю. А. Ершов, В. А. Попков, А. С. Берлянд и др.: Под ред. Ю. А. Ершова. – М. Высш. шк., 2000. – С. 423-449.
4. Зеленин К. Н. Химия: Учеб. для мед. вузов. – СПб: «Специальная литература», 1997. – С. 235-254.
5. Садовнича Л. П., Хухрянский В. Г., Цыганенко А. Я. Биофизическая химия. – К.: Вища школа, 1986. – С. 166-182.
6. Равич-Щербо М. И., Новиков В. В. Физическая и коллоидная химия. – М.: Высш. шк., 1975. – С.153-168.



## Занятие № 14

### ТЕМА: Ионный обмен. Хроматография

**ЦЕЛЬ:** Изучить теоретические основы явлений адсорбции и ионного обмена, возможности их применения в медицинской практике

#### Задания для самоподготовки студентов:

1. Рассчитать коэффициенты подвижности моносахаридов, если растворитель прошел расстояние, равное 22 см, раствор глюкозы – 12,8 см, раствор фруктозы – 15,4 см, а раствор сахарозы – 17,3 см.
2. При хроматографировании на бумаге раствора, содержащего смесь катионов X и Y, получено: расстояние от линии старта до линии финиша растворителя – 15 см, расстояние от линии старта до центра пятен – 5,5 см и 3,6 см соответственно. Установить какие это катионы, если  $R_f$  для катионов магния, стронция, бария равны соответственно 0,37; 0,43, 0,24.
3. При разделении смеси бензойной (1) и пара-аминобензойной кислот (2) методом хроматографии в тонком слое установлены значения подвижностей, равные 0,44 и 0,32 соответственно. Вычислить относительные значения коэффициентов подвижности обеих кислот, если для стандарта – ортохлорбензойной кислоты  $R_f = 0,58$ .
4. Рассчитать значения коэффициента подвижности и относительного коэффициента подвижности для глицина, если расстояние от линии старта до линии финиша растворителя – 7 см, расстояние от линии старта до центра пятна аланина – 5,5 см, расстояние от линии старта до центра пятна стандартного вещества – 5,6 см.

5. Для какой из аминокислот – цистеина или тирозина – скорость перемещения на бумаге в смеси вода-фенол будет больше, если известно, что  $R_f$  для этих веществ равен соответственно 0,19 и 0,52?
6. Какому лекарственному препарату соответствует пятно с  $R_f = 0,47$ , если расстояние от линии старта до линии финиша растворителя – 16 см, а расстояние от линии старта до центра пятен соединений составляет: для стрептоцида 6,4 см; для этазола 7,5 см; для сульфадимезина 6,7 см; для сульфацила натрия 8,1 см.
7. Вычислить относительный коэффициент подвижности вещества X, если расстояние от линии старта до линии финиша растворителя – 10 см, расстояние от линии старта до центра пятна вещества X – 8,1 см, расстояние от линии старта до центра пятна стандартного вещества – 7,8 см.
8. При разделении смеси метионина (1) и аланина (2) методом тонкослойной хроматографии получены следующие результаты: расстояние от линии старта до линии финиша растворителя – 13 см, расстояния от линии старта до центра пятен равны 4,4 см и 5,2 см соответственно. Вычислить значения  $R_f$  и  $R_s$  обеих аминокислот, если для стандарта (глицина)  $R_f = 0,38$ .
9. На хроматографической бумаге расстояние от линии старта до линии финиша растворителя – 12 см, а расстояние от линии старта до центра пятна аминокислоты – 8,2 см. Идентифицировать аминокислоту, если  $R_f$  для лейцина – 0,74; аланина – 0,63; глицина – 0,81, метионина – 0,68.
10. Рассчитать относительные коэффициенты подвижности моносахаридов, если расстояние от линии старта до линии финиша растворителя – 15 см,

расстояние от линии старта до центра пятна стандартного вещества – 11,3 см, глюкозы – 10,8 см, сахарозы – 11,7 см.

### Примеры выполнения заданий:

**Задача 1.** Рассчитайте значения  $R_f$  и  $R_s$  для аминокислоты тирозина, если в ходе анализа методом тонкослойной хроматографии установлено, что фронт растворителя переместился на 10 см. а расстояние от линии старта до центра пятна аминокислоты – 5,3 см, при этом расстояние от линии старта до центра пятна стандартного вещества – 5,8 см.

**Решение.** Вычислим значения  $R_f$  для тирозина и стандартного вещества по формуле:

$$R_f = \frac{x}{L}, \text{ где}$$

$x$  – расстояние от стартовой линии до центра зоны;

$L$  – расстояние, пройденное за это же время растворителем.

$$R_{f \text{ в-ва}} = \frac{5,3}{10} = 0,53.$$

$$R_{f \text{ ст.}} = \frac{5,8}{10} = 0,58.$$

Значение  $R_s$  для тирозина рассчитываем по формуле:

$$R_s = \frac{R_{f \text{ в-ва}}}{R_{f \text{ ст-та}}}.$$

$$R_s = \frac{0,53}{0,58} = 0,91.$$

Ответ: 0,53; 0,91.

### Литература:

1. Мороз А. С, Луцевич Д. Д. Яворська Л. П. Медична хімія: підручник для студ. вищ. навч. мед. закл. – Вінниця: Нова книга, 2011. – С. 594-601.
2. Медицинская химия: учеб. / В. А. Калибабчук, Л. И. Грищенко, В. И. Галинская и др.; под ред. В. А. Калибабчук. – К.: Медицина, 2008. – С. 244-249.
3. Равич-Щербо М. И., Новиков В. В. Физическая и коллоидная химия. – М.: Высш. шк., 1975. – С. 168-174.

## Занятие № 15.

**ТЕМА: Получение, очистка и свойства коллоидных растворов. Коагуляция коллоидных растворов. Коллоидная защита**

**ЦЕЛЬ: Сформировать представление о структуре и свойствах биологически важных коллоидов. На основе системного изучения процесса коагуляции золей научиться прогнозировать влияние различных факторов на устойчивость биологически важных коллоидных систем**

**Задания для самоподготовки студентов:**

1. Напишите строение мицеллы следующих золей:
  - 1)  $\text{AgBr}$  при условии избытка  $\text{KBr}$ ;
  - 2)  $\text{AgI}$  при условии избытка  $\text{AgNO}_3$ ;
  - 3)  $\text{AgBr}$  при условии избытка  $\text{CaBr}_2$ ;
  - 4)  $\text{PbCrO}_4$  при условии избытка  $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ;
  - 5)  $\text{BaSO}_4$  при условии избытка  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ;
  - 6) берлинской лазури при условии избытка желтой кровяной соли  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ;
  - 7) меди(II) гексацианоферрата  $\text{Cu}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  при условии избытка  $\text{CuCl}_2$ ;
  - 8)  $\text{BaCrO}_4$  при условии избытка  $\text{BaCl}_2$ .
2. Написать схему строения мицелл сульфата стронция  $\text{SrSO}_4$ , образующихся при избытке: а) хлорида стронция  $\text{SrCl}_2$ , б) сульфата натрия  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .
3. Написать схему строения мицеллы гидроксида кобальта  $\text{Co}(\text{OH})_2$ , образующейся при избытке: а) хлорида кобальта  $\text{CoCl}_2$ , б) гидроксида натрия  $\text{NaOH}$ .

4. Написать схему строения мицеллы сульфата бария  $\text{BaSO}_4$ , образующейся при избытке: а) хлорида бария  $\text{BaCl}_2$ , б) сульфата калия  $\text{K}_2\text{SO}_4$ .
5. Золь гексацианоферрата(II) меди получен действием избытка  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  на  $\text{CuSO}_4$ . Написать формулу мицеллы и указать заряд гранулы. К какому электроду будут двигаться частицы золя в электрическом поле?
6. Золь бромида серебра получен смешением 12 мл 0,02 М. раствора  $\text{KBr}$  и 75 мл 0,005 М. раствора  $\text{AgNO}_3$ . Какое из веществ взято в избытке? Написать формулу мицеллы и указать заряд гранулы.
7. Золь йодида серебра получен смешением 15 мл 0,01 М. раствора  $\text{KI}$  и 20 мл 0,005 М. раствора  $\text{AgNO}_3$ . Написать формулу мицеллы и указать заряд гранулы.
8. Золь берлинской лазури получен смешением равных объемов 0,01 н. раствора  $\text{FeCl}_3$  и 0,005 н. раствора  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ . Написать формулу мицеллы и указать заряд гранулы.
9. Написать мицеллу золя, полученного при взаимодействии  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  и  $\text{K}_2\text{CrO}_4$ . Какой из электролитов взят в избытке, если при электрофорезе частицы перемещаются к катоду?
10. Написать мицеллу золя, полученного при взаимодействии  $\text{Na}_2\text{S}$  и  $\text{ZnSO}_4$ . Какой из электролитов взят в избытке, если при электрофорезе частицы перемещаются к аноду?

11. Написать мицеллу золя, полученного при взаимодействии  $\text{BaCl}_2$  и  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .  
Какой из электролитов взят в избытке, если при электрофорезе частицы перемещаются к катоду?
12. Написать мицеллу золя, полученного при взаимодействии  $\text{AgNO}_3$  и  $\text{NaCl}$ .  
Какой из электролитов взят в избытке, если при электрофорезе частицы перемещаются к аноду?
13. Какое из перечисленных веществ:  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$  является наиболее экономичным коагулятором для:
- золя  $\text{BaSO}_4$ , образованного при избытке  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,
  - золя  $\text{ZnS}$ , образованного при избытке  $\text{ZnSO}_4$ ,
  - золя  $\text{SrSO}_4$ , образованного при избытке  $\text{SrCl}_2$ ,
  - золя  $\text{Co}(\text{OH})_2$ , образованного при избытке  $\text{CoCl}_2$ ,
  - золя  $\text{PbCrO}_4$ , образованного при избытке  $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ,
  - золя  $\text{AgBr}$ , образованного при избытке  $\text{AgNO}_3$ .
14. Золь гидроксида железа(III), частицы которого заряжены положительно, коагулируются электролитами. Какой из приведенных электролитов имеет наибольшую коагулирующую способность и почему: хлорид кальция, фосфат натрия, сульфат железа (II), нитрат алюминия или карбонат натрия?
15. Какой из катионов имеет наименьшую коагулирующую способность по отношению к золю  $\text{AgI}$  с отрицательно заряженными частицами:  $\text{Rb}^+$ ,  $\text{Cs}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Li}^+$ .
16. Золь йодида серебра получен при избытке йодида калия. Какой из приведенных коагулирующих электролитов будет иметь наименьший

порог коагуляции: нитрат цинка, сульфат калия, нитрат алюминия, хлорид железа(III), гексацианоферрат(III) калия?

17. Пороги коагуляции некоего золя электролитами  $\text{NaCl}$  и  $\text{CaCl}_2$  одинаковы. Какой вывод можно сделать относительно заряда коллоидных частиц?
18. Определить знак заряда частиц золя, если при его коагуляции электролитами получены следующие значения порогов коагуляции, ммоль/л:  $C_{\text{к}}(\text{NaCl})=300$ ,  $C_{\text{к}}(1/2\text{MgCl}_2)=320$ ,  $C_{\text{к}}(1/3\text{Na}_3\text{PO}_4)=0,6$ ,  $C_{\text{к}}(\text{Na}_2\text{SO}_4)=20$ .
19. Коагуляция гидрозоль гидроксида железа(III) произошла при добавлении к нему 2 мл раствора сульфата натрия с молярной концентрацией эквивалента 0,0025 моль/л. Рассчитать порог коагуляции.
20. Коагулирующая способность ионов алюминия по отношению к золю сульфида мышьяка(III) равна 10,1 л/ммоль. Рассчитать минимальную молярную концентрацию эквивалента электролита, вызывающую его полную коагуляцию.
21. В три колбы было налито по 100 мл золя  $\text{AgI}$ . Чтобы вызвать коагуляцию золя потребовалось добавить в первую колбу 9,5 мл 1 н. раствора  $\text{NaCl}$ , во вторую – 24,0 мл 0,001 н. раствора  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ , в третью – 35,5 мл 0,02 н. раствора  $\text{K}_2\text{SO}_4$ . Рассчитайте порог коагуляции каждого электролита и определите знак заряда частиц золя.
22. Для коагуляции 200 мл золя  $\text{AgBr}$  понадобилось 15,5 мл 0,002 н. раствора  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$  и 18,0 мл 0,02 н. раствора  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Рассчитайте порог коагуляции каждого электролита и определите знак заряда частиц золя.

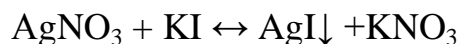


23. Пороги коагуляции электролитов  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  и  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ , для золя  $\text{AgI}$  соответственно равны 7,3 и 0,295 ммоль/л. Определите заряд гранулы частицы золя и во сколько раз коагулирующая способность алюминия нитрата больше, чем фосфата натрия
24. Пороги коагуляции электролитов  $\text{CaCl}_2$  и  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , для золя  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  соответственно равны 0,38 и 19,25 ммоль/л. Во сколько раз коагулирующая способность кальция хлорида больше, чем дихромата калия?

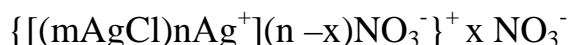
**Примеры выполнения заданий:**

**Задача 1.** Золь йодида серебра получен смешением 0,05 М раствора  $\text{KI}$  и 0,1 М раствора  $\text{AgNO}_3$ . К какому электроду будут двигаться образовавшиеся частицы в электрическом поле?

*Решение.* Запишем реакцию образования осадка



Исходя из концентраций взаимодействующих растворов, в избытке взят раствор нитрата серебра, тогда формула образовавшейся мицеллы имеет вид:



Потенциалоопределяющие ионы – катионы серебра, заряд гранулы положительный. Таким образом, частицы будут двигаться в электрическом поле к электроду, имеющему отрицательный заряд, т.е. к катоду.

Ответ: к катоду.

**Задача 2.** Для получения золя хлорида серебра смешали 40 мл 0,02 н. раствора  $\text{NaCl}$  с 75 мл 0,01 н. раствора нитрата серебра. Написать формулу мицеллы, указать знак заряда гранулы.

**Решение.**

Находим число ммоль NaCl:

$$40 \cdot 0,02 = 0,80 \text{ ммоль.}$$

Определяем число ммоль нитрата серебра:

$$75 \cdot 0,01 = 0,75 \text{ ммоль.}$$

В растворе содержится избыток натрия хлорида.



Мицелла:  $\{[(m\text{AgCl})n\text{Cl}^-(n-x)\text{Na}^+]\}^x \cdot x\text{Na}^+$

Знак заряда гранулы отрицательный.

**Задача 3.** В три колбы было налито по 100 мл золя BaSO<sub>4</sub>. Чтобы вызвать коагуляцию золя потребовалось добавить в первую колбу 7,5 мл 1 н. раствора Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, во вторую, 75 мл 0,02 н. раствора CaCl<sub>2</sub>, в третью – 27,0 мл 0,001 н. раствора Al(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>. Рассчитайте порог коагуляции каждого электролита.

**Решение.** Порогом коагуляции называют минимальное количество ммоль электролита, вызывающее коагуляцию 1 литра золя.

Определяем порог коагуляции для Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:

$$C_{\text{к}} = \frac{C_{(\text{э.л.})} \cdot V_{(\text{э.л.})} \cdot 1000}{V_{(\text{з.золя})} + V_{(\text{э.л.})}} = \frac{1 \cdot 7,5 \cdot 1000}{100 + 7,5} = 69,8 \text{ моль/л.}$$

Определяем порог коагуляции для CaCl<sub>2</sub>:

$$C_{\text{к}} = \frac{C_{(\text{э.л.})} \cdot V_{(\text{э.л.})} \cdot 1000}{V_{(\text{з.золя})} + V_{(\text{э.л.})}} = \frac{0,02 \cdot 75 \cdot 1000}{100 + 75} = 8,6 \text{ моль/л.}$$

Определяем порог коагуляции для Al(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>:

$$C_{\text{к}} = \frac{C_{(\text{э.л.})} \cdot V_{(\text{э.л.})} \cdot 1000}{V_{(\text{золя})} + V_{(\text{э.л.})}} = \frac{0,001 \cdot 27 \cdot 1000}{100 + 27} = 0,21 \text{ моль/л.}$$

Заряд гранул частиц золя  $\text{BaSO}_4$ , полученного при избытке  $\text{K}_2\text{SO}_4$  будет отрицательным, так как потенциалопределяющими ионами являются сульфат-ионы –  $\text{SO}_4^{2-}$ . Таким образом, коагулирующими ионами для данного золя выступают катионы. Электролиты  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$  содержат катионы разного заряда. Чем заряд иона больше, тем порог коагуляции оказывается меньше. Самый малый порог коагуляции (но наибольшая коагулирующая способность) у ионов  $\text{Al}^{3+}$ .

**Задача 4.** Пороги коагуляции электролитов  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  и  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ , для отрицательного золя берлинской лазури соответственно равны 22,5 и 0,325 ммоль/л. Во сколько раз коагулирующая способность алюминия нитрата больше, чем натрия сульфата?

**Решение.** Коагулирующие способности электролитов ( $V_{\text{к}}$ ) являются величинами, обратными их порогам коагуляции:

$$V_{\text{к}} = \frac{1}{C_{\text{к}}}$$

$$V_{\text{к Na}_2\text{SO}_4} = \frac{1}{22,5} = 0,044$$

$$V_{\text{к Al}(\text{NO}_3)_3} = \frac{1}{0,325} = 3,07$$

$$V_{\text{Na}_2\text{SO}_4} : V_{\text{Al}(\text{NO}_3)_3} = 3,07 : 0,044 = 7$$

Ответ: для данного золя коагулирующая способность алюминия нитрата в 70 раз больше, чем натрия сульфата.

## Литература:

1. Мороз А. С, Луцевич Д. Д. Яворська Л. П. Медична хімія: підручник для студ. вищ. навч. мед. закл. – Вінниця: Нова книга, 2011. – С. 568-657, 730-758.
2. Медицинская химия: учеб. / В. А. Калибабчук, Л. И. Грищенко, В. И. Галинская и др.; под ред. В. А. Калибабчук. – К.: Медицина, 2008. – С. 252-315.
3. Общая химия. Биофизическая химия. Химия биогенных элементов: Учеб. для вузов / Ю. А. Ершов, В. А. Попков, А. С. Берлянд и др.: Под ред. Ю. А. Ершова. – М. Высш. шк., 2000. – С. 491-525.
4. Зеленин К. Н. Химия: Учеб. для мед. вузов. – СПб: «Специальная литература», 1997. – С. 265-291.
5. Садовнича Л. П., Хухрянский В. Г., Цыганенко А. Я. Биофизическая химия. – К.: Вища школа, 1986. – С. 187-237.
6. Равич-Щербо М. И., Новиков В. В. Физическая и коллоидная химия. – М.: Высш. шк., 1975. – С.175-195.

## Занятие № 16

**ТЕМА: Свойства растворов биополимеров. Изоэлектрическая точка белка**

**ЦЕЛЬ: Научиться оценивать свойства полимерных материалов на основе химической природы и характеристики молекул**

### **Задания для самоподготовки студентов:**

1. К какому электроду будут передвигаться частицы белка при электрофорезе, если его  $pI = 4,9$ , а  $pH$  раствора равен  $6,5$ .
2. Изоэлектрическая точка миозина мышц равна  $5,0$ . При каких значениях  $pH$ :  $3,0$ ;  $5,0$ ;  $6,0$  или  $7,0$  электрофоретическая подвижность будет наибольшей? Ответ мотивировать.
3. Белок миоглобин ( $pI = 7,0$ ) поместили в раствор с  $pH = 8,8$ . Какой заряд имеют частицы миоглобина в данном растворе? К какому из электродов будут двигаться частицы белка при электрофорезе? Ответ мотивировать.
4. К какому электроду будет двигаться белок при  $pH = 7,0$ , если его изоэлектрическая точка равна  $5,2$ ? Ответ мотивировать.
5.  $pI$  белка казеина равна  $4,5$ . Какой заряд имеют частицы казеина в растворе с  $pH 2,0$  и  $8,0$ ? К какому из электродов будут двигаться частицы белка при электрофорезе в данных условиях? Ответ мотивировать.
6. В растворе содержится смесь белков: миоглобина ( $pI = 7$ ), казеина ( $pI = 4,5$ ) и миозина ( $pI = 5,0$ ). При каком значении  $pH$  можно электрофоретически разделить эти белки?

7. В растворе содержится смесь белков: зеин ( $pI = 6,2$ ), казеин ( $pI = 4,8$ ) и лизоцим ( $pI = 11,0$ ). При каком значении  $pH$  их можно разделить электрофоретически? Ответ мотивировать.
8. При каком значении  $pH$  можно электрофоретически разделить белки с изоэлектрическими точками 6,0 и 11,0? Ответ мотивировать.
9. Яичный белок – альбумин ( $pI = 4,6$ ) и белок кукурузы – зеин ( $pI = 6,2$ ) поместили в буферный раствор с  $pH = 5,2$ . Какой заряд имеют частицы белков? К какому из электродов будут двигаться их частицы при электрофорезе? Ответ мотивировать.
10. При каких значениях  $pH$  можно разделить методом электрофореза два фермента А и В с изоэлектрическими точками 4,0 та 7,0? Какими будут заряды ферментов А и В при значениях  $pH$  4,0; 5,0; 6,0; 7,0; 8,0; 9,0?
11. Какой заряд имеют частицы гемоглобина ( $pI = 6,8$ ) в буферном растворе с  $pH = 5$  и с  $pH = 11$ ? К какому из электродов будут двигаться частицы белка при электрофорезе? Ответ мотивировать.
12. При набухании 100 г каучука поглотилось 455 мл хлороформа (плотность 1,9 г/мл). Рассчитать степень набухания каучука и массовые доли веществ в полученном студне.
13. Вычислить удельную вязкость раствора полимера, если его концентрация – 0,1 моль/л, молярная масса – 65000 г/моль, а  $k=1,2$ . (ответ  $7,8 \cdot 10^3$ )

14. Полимер массой 5 г поместили в склянку с водой. Через 30 мин полимер вынули из склянки и взвесили, масса стала 5,75 г. Рассчитать степень набухания полимера (в %). (ответ: 15%)
15. Рассчитать массу полимера, взятого в сухом виде, если степень набухания его после 20 мин. пребывания в склянке с бензином составила 30%, а масса – 12,5 г. (ответ: 9,6 г.)

### **Примеры выполнения заданий:**

**Задание 1.** К какому электроду будет перемещаться при электрофорезе гемоглобина ( $pI = 6,8$ ) в буферном растворе с  $pH = 8,5$  и  $pH = 2,7$ ? Какими будут заряды белка в каждом растворе?

#### ***Решение.***

Значение  $pH$ , при котором молекула белка электронейтральна и при электрофорезе остается на старте, называется изоэлектрической точкой ( $pI$ ).

При  $pH > pI$  белок заряжается отрицательно, при  $pH < pI$  – положительно.

Таким образом, при  $pH=8,5$ , которое больше  $pI$  ( $6,8$ ), белок будет заряжаться отрицательно и при электрофорезе перемещаться к аноду, имеющему положительный заряд. А при  $pH=2,7$ , которое меньше  $pI$ , белок будет заряжаться положительно и при электрофорезе перемещаться к катоду, имеющему отрицательный заряд.

**Задание 2.** Желатин массой 15 г поместили в склянку с водой для набухания. Через 60 мин его вынули из склянки и взвесили, масса стала 21,75 г. Рассчитать степень набухания полимера (в %).

***Решение.*** Степень набухания полимера  $\alpha$  определяется по формуле:

$$\alpha = \frac{m - m_0}{m_0} \cdot 100\%, \text{ где}$$

$m_0$  – масса полимера до набухания;

$m$  – масса полимера после набухания.

$$\alpha = \frac{m - m_0}{m_0} \cdot 100\% = \frac{21,75 - 15}{15} \cdot 100 = 45\%.$$

Ответ: степень набухания полимера в воде 45%.

### Литература:

1. Мороз А. С, Луцевич Д. Д. Яворська Л. П. Медична хімія: підручник для студ. вищ. навч. мед. закл. – Вінниця: Нова книга, 2011. – С. 676-728.
2. Медицинская химия: учеб. / В. А. Калибабчук, Л. И. Грищенко, В. И. Галинская и др.; под ред. В. А. Калибабчук. – К.: Медицина, 2008. – С. 318-341.
3. Равич-Щербо М. И., Новиков В. В. Физическая и коллоидная химия. – М.: Высш. шк., 1975. – С. 196-199, 208-212, 214-217.
4. Садовнича Л. П., Хухрянский В. Г., Цыганенко А. Я. Биофизическая химия. – К.: Вища школа, 1986. – С. 238-258.



## Занятие № 17

**ТЕМА: Итоговый контроль усвоения модуля 1 «Медицинская химия»**

**ЦЕЛЬ: Оценить знания и умения студентов по предмету «Медицинская химия»**

**Задание для самоподготовки студентов:**

**Повторить теоретический материал и решение расчетных задач по темам № 1-16.**

### Литература:

1. Мороз А. С, Луцевич Д. Д. Яворська Л. П. Медична хімія: підручник для студ. вищ. навч. мед. закл. – Вінниця: Нова книга, 2011. – 776 с.
2. Медицинская химия: учеб. / В. А. Калибабчук, Л. И. Грищенко, В. И. Галинская и др.; под ред. В. А. Калибабчук. – К.: Медицина, 2008. – 400 с.
3. Равич-Щербо М. И., Новиков В. В. Физическая и коллоидная химия. – М.: Высш. шк., 1975. – 255 с.
4. Садовничая Л. П., Хухрянский В. Г., Цыганенко А. Я. Биофизическая химия. – К.: Вища школа, 1986. – 271 с.
5. Общая химия. Биофизическая химия. Химия биогенных элементов: Учеб. для вузов / Ю. А. Ершов, В. А. Попков, А. С. Берлянд и др.: Под ред. Ю. А. Ершова. – М. Высш. шк., 2000. – 560 с.
6. Зеленин К. Н. Химия: Учеб. для мед. вузов. – СПб: «Специальная литература», 1997. – 677 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	3
<b><u>Смысловой модуль 1. Химия биогенных элементов.</u></b>	
<b>Комплексообразование в биологических жидкостях.....</b>	<b>4</b>
Занятие № 1-2. Биогенные s- и p-элементы, биологическая роль, применение в медицине. Биогенные d-элементы, биологическая роль, применение в медицине.....	5
Занятие № 3. Комплексообразование в биологических системах.....	8
<b><u>Смысловой модуль 2. Кислотно-основные равновесия в биологических жидкостях.....</u></b>	<b>11</b>
Занятие № 4. Величины, характеризующие количественный состав растворов. Приготовление растворов.....	12
Занятие № 5. Кислотно-основное равновесие в организме. Водородный показатель биологических жидкостей. Буферные системы.....	18
Занятие № 6. Основы титриметрического анализа. Кислотно-основное титрование. Ацидиметрия, алкалиметрия.....	25
Занятие № 7. Коллигативные свойства растворов.....	29
Занятие № 8. Семинарское занятие по теме «Химия биогенных элементов. Комплексообразование в биологических жидкостях. Кислотно-основные равновесия в биологических жидкостях».....	34
<b><u>Смысловой модуль 3. Термодинамические и кинетические закономерности протекания процессов и электрокинетические явления в биологических системах.....</u></b>	<b>37</b>
Занятие № 9. Тепловые эффекты химических реакций. Направленность процессов.....	38

Занятие № 10. Кинетика биохимических реакций.....	43
Занятие № 11. Химическое равновесие. Произведение растворимости.....	47
Занятие № 12. Определение окислительно-восстановительного потенциала.....	53
<b><u>Смысловой модуль 4. Физико-химия поверхностных явлений.</u></b>	
<b>Лиофобные и лиофильные дисперсные системы.....</b>	<b>59</b>
Занятие № 13. Сорбция биологически активных веществ на границе раздела фаз.....	60
Занятие № 14. Ионный обмен. Хроматография.....	65
Занятие № 15. Получение, очистка и свойства коллоидных растворов. Коагуляция коллоидных растворов. Коллоидная защита.....	69
Занятие № 16. Свойства растворов биополимеров. Изоэлектрическая точка белка.....	77
Занятие № 17. Итоговый контроль усвоения модуля 1 «Медицинская химия».....	81