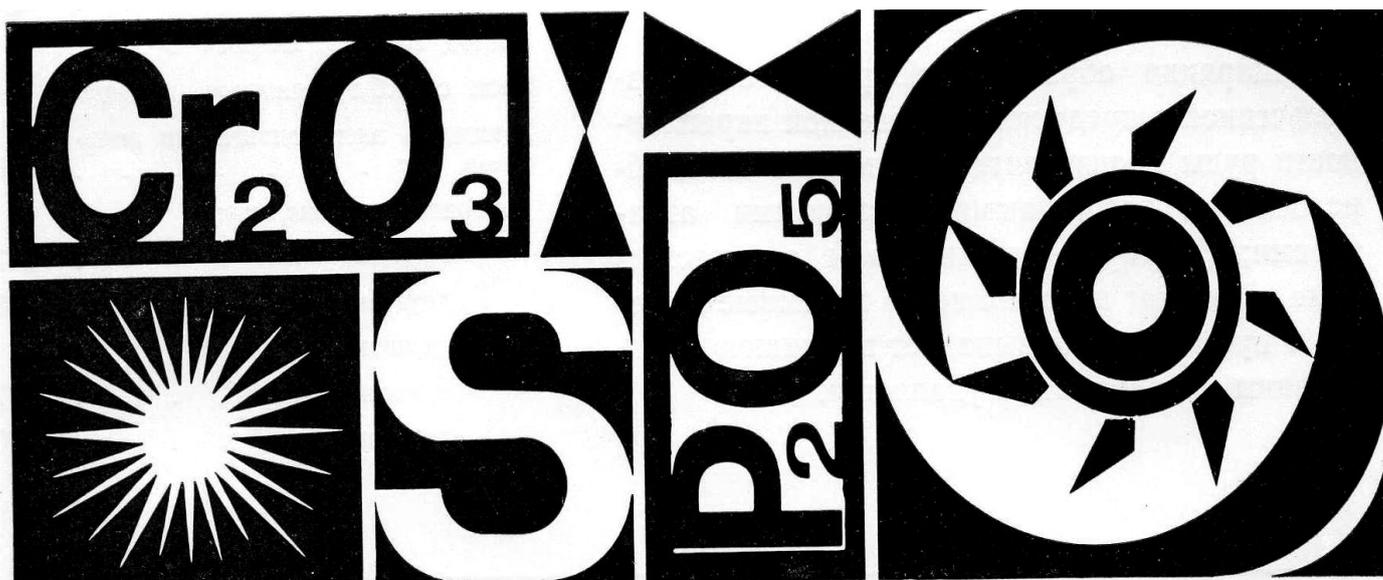




Министерство образования и науки Украины  
Харьковский национальный автомобильно-дорожный  
университет

# СБОРНИК ЗАДАЧ ПО ХИМИИ

для русскоязычных студентов и  
студентов - иностранцев



Харьков 2007



Министерство образования и науки Украины  
Харьковский национальный автомобильно-дорожный  
университет

## **СБОРНИК ЗАДАЧ ПО ХИМИИ**

для русскоязычных студентов и  
студентов - иностранцев

Утверждено  
методическим  
советом университета  
протокол №      от

Харьков ХНАДУ 2007



Составители

Кафедра химии

Э.Б. Хоботова  
Л.М. Егорова

Кафедра строительства и  
эксплуатации автомобильных  
дорог

В.Я. Терлецкая



## ВВЕДЕНИЕ

Инженер любой специальности должен иметь знания в области химии, которые необходимы для изучения других общенаучных и специальных дисциплин. Изучение курса химии позволяет получить современное научное представление о материи, веществе, о механизмах превращений химических соединений. Необходимо хорошо знать основные законы химии и уметь делать химические расчеты.

В сборнике рассмотрены задачи и упражнения по химии, предназначенные для подготовки студентов различных специальностей в практическим занятиям и модульным контролям по химии. Задачи представлены по темам. К каждой теме прилагается краткий теоретический материал. Внимательно прочитайте все определения (выделены жирным шрифтом) и выучите формулы. Темы «Химические источники тока», «Коррозия металлов», «Электролиз солей» являются основными при изучении химии студентами автомобильного, механического факультетов и факультета транспортных систем. Тема «Дисперсные системы» предназначена для студентов дорожно-строительного факультета специальностей «Экология и охрана окружающей среды», «Автомобильные дороги и аэродромы», «Мосты и транспортные туннели», но могут быть использованы и студентами других специальностей.

Задачи по каждой теме представлены в виде уровней повышающейся сложности: начальный, средний, высший и творческий. Для каждого уровня приведены примеры решения задач или выполнения заданий. Рекомендуется часть задач и заданий выполнить самостоятельно. Это дает возможность студенту проверить уровень усвоения им соответствующего учебного материала. Решение задач – один из методов прочного усвоения, проверки и закрепления теоретического материала.



## Тема №1 «ХИМИЧЕСКАЯ КИНЕТИКА. ХИМИЧЕСКОЕ РАВНОВЕСИЕ»

### Теоретическая часть

*Химическая кинетика* – это раздел химии, изучающий скорость химических реакций и факторы, на нее влияющие.

Различают реакции гомогенные и гетерогенные.

*Гомогенные реакции* протекают в одной фазе.

*Гетерогенные реакции* протекают в системе, состоящей из нескольких фаз. Реакция протекает на поверхности раздела фаз.

*Скорость реакции* – это количество вещества, вступающее в реакцию за единицу времени в единице объема (для гомогенных реакций) или на единице площади поверхности раздела фаз (для гетерогенных реакций). Например, для гомогенной реакции

$$\bar{v} = \frac{\Delta n}{V \cdot \Delta t} = \frac{\Delta C}{\Delta t},$$

где  $\Delta n$  - количество вещества;

$V$  - объем;

$\Delta t$  - интервал времени;

$\Delta C$  - изменение молярной концентрации.

**Закон действия масс (ЗДМ):** при постоянной температуре скорость химической реакции прямопропорциональна произведению концентраций реагирующих веществ в степенях их стехиометрических коэффициентов.

ЗДМ определяет зависимость скорости реакции от концентрации реагирующих веществ. В общем виде для реакции

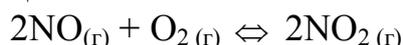


скорость реакции выражается как

$$v = k [A]^n [B]^m.$$

где  $k$  – константа скорости реакции, равная скорости реакции при единичных концентрациях, равных единице.

Для гомогенной реакции

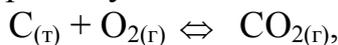


скорость реакции равна

$$v = k [NO]^2 [O_2].$$



Для гетерогенных реакций в уравнение ЗДМ входят концентрации только тех веществ, которые находятся в газообразном или жидком состоянии. Например, для горения угля



$$\mathfrak{V} = k [O_2].$$

**Правило Вант-Гоффа:** повышение температуры на  $10^\circ$  увеличивает скорость реакции в 2-4 раза.

$$\frac{\mathfrak{V}_2}{\mathfrak{V}_1} = \frac{k_2}{k_1} = \gamma^{\frac{t_2-t_1}{10}} = \gamma^{\frac{\Delta t}{10}}$$

где  $\mathfrak{V}_2, \mathfrak{V}_1$  - скорость реакции при конечной ( $t_2$ ) и начальной температуре ( $t_1$ );

$k_2, k_1$  – константы скорости реакции;

$\gamma$ - температурный коэффициент скорости реакции, равный 2-4.

Уравнение Аррениуса показывает, что скорость реакции изменяется сильнее с температурой для тех реакций, в которых энергия активации больше.

$$k = A \cdot e^{\frac{-E_a}{RT}} \quad \text{или}$$

$$\ln k = -\frac{E_a}{RT} + C,$$

где  $A, C$  - эмпирические константы;

$E_a$  - энергия активации реакции;

$R$  - универсальная газовая постоянная;

$T$  - температура в К.

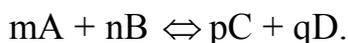
### *Химическое равновесие*

Все химические реакции можно разбить на две группы: обратимые и необратимые. Обратимые реакции идут в прямом и обратном направлении.



Химическое равновесие – это состояние системы, при котором скорости прямой и обратной реакции равны. Химическое равновесие характеризуется константой химического равновесия ( $K$  или  $K_p$ ), которая выражается через концентрации веществ.

Например, для химического равновесия

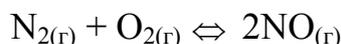




$$K = \frac{[C]^p [D]^q}{[A]^m [B]^n}.$$

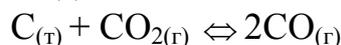
Константа равновесия показывает соотношение между концентрациями продуктов реакции и исходных веществ в степенях их стехиометрических коэффициентов.

Для гомогенной реакции



$$K = \frac{[NO]^2}{[N_2] \cdot [O_2]}.$$

Для гетерогенной реакции в выражение  $K$  входят концентрации веществ, находящихся в газообразном или жидком состоянии. Например:



$$K = \frac{[CO]^2}{[CO_2]}.$$

**Принцип Ле - Шателье:** если изменить одно из условий, при которых система находится в состоянии химического равновесия ( $C, t, p$ ), то в системе протекают процессы, ослабляющие это изменение.

### Изменение концентрации веществ

Для системы  $A+B \rightleftharpoons C+D$  увеличение концентрации веществ  $A$  и  $B$  приведет к увеличению  $\mathcal{Q}_{np}$  и сдвигу равновесия вправо.

Увеличение концентраций веществ  $C$  и  $D$  приведет к сдвигу равновесия влево.

Уменьшение концентрации исходных веществ и продуктов реакции приведет к противоположным сдвигам равновесия.

### Изменение температуры

Реакции делятся на экзотермические, идущие с выделением теплоты  $+Q$  ( $-\Delta H$ ), и эндотермические, протекающие с поглощением теплоты  $-Q$  ( $+\Delta H$ ).  $\Delta H$  – это изменение энтальпии системы. При повышении температуры равновесие смещается в направлении эндотермической реакции, а при понижении – в направлении экзотермической реакции. Например, в системе

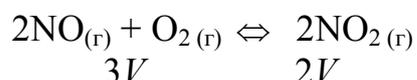


прямая реакция является экзотермической, а обратная – эндотермической. Повышение температуры приведет к сдвигу равновесия влево и снижению выхода аммиака.



## Изменение давления

При увеличении давления путем сжатия системы равновесие сместится в сторону уменьшения числа молекул газов и наоборот. Если количество молей исходных веществ и продуктов реакции одинаково, то изменение давления не влияет на сдвиг равновесия. Например, для равновесного состояния

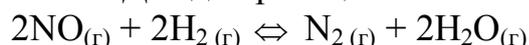


увеличение давления приведет к сдвигу равновесия вправо и увеличению выхода  $\text{NO}_2$  и наоборот.

## Начальный уровень

### Примеры решения задач

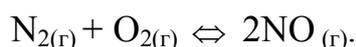
1. Напишите выражения ЗДМ для реакции



Решение: реакция является гомогенной, поэтому в выражение ЗДМ входят концентрации исходных веществ  $\text{NO}$  и  $\text{H}_2$  в степенях их стехиометрических коэффициентов

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

2. Напишите выражение константы равновесия для химической системы



Решение:

$$K = \frac{[\text{NO}]^2}{[\text{N}_2] \cdot [\text{O}_2]},$$

так как химическая система гомогенная, в выражение  $K$  входят концентрации всех исходных веществ и продуктов реакции.

3. Напишите выражение ЗДМ для прямой и обратной реакции и выразите  $K$  для химической системы.



Решение: Химическая система является гетерогенной, поэтому в выражение ЗДМ и  $K$  не входит концентрация  $\text{PCl}_5$  – твердого исходного вещества. Отсюда



$$g_{\text{пр}} = k_{\text{пр}},$$

$$g_{\text{обр.}} = k_{\text{обр.}} [\text{Cl}_2] [\text{PCl}_3].$$

$$K = [\text{Cl}_2] [\text{PCl}_3].$$

4. Температурный коэффициент скорости реакции равен 4,0. Во сколько раз увеличится скорость реакции, если температура повышается с 35 °С до 65 °С?

Дано

$$\begin{aligned} \gamma &= 4,0 \\ t_1 &= 35 \text{ }^\circ\text{C} \\ t_2 &= 65 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

---

$$\frac{g_2}{g_1} = ?$$

Решение:

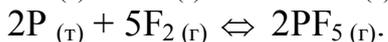
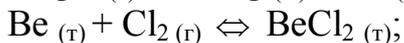
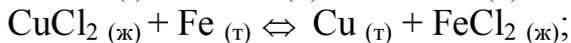
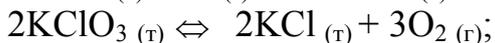
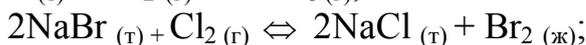
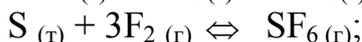
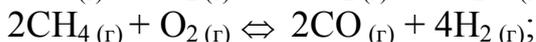
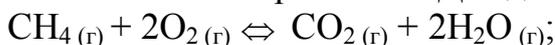
При повышении температуры скорость химической реакции увеличивается согласно правилу Вант-Гоффа

$$\frac{g_2}{g_1} = \gamma^{\frac{t_2 - t_1}{10}} = 4^{\frac{65 - 35}{10}} = 4^3 = 64.$$

Ответ: скорость химической реакции увеличилась в 64 раза.

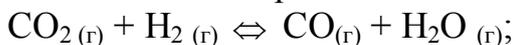
### Задачи для самостоятельного решения Химическая кинетика

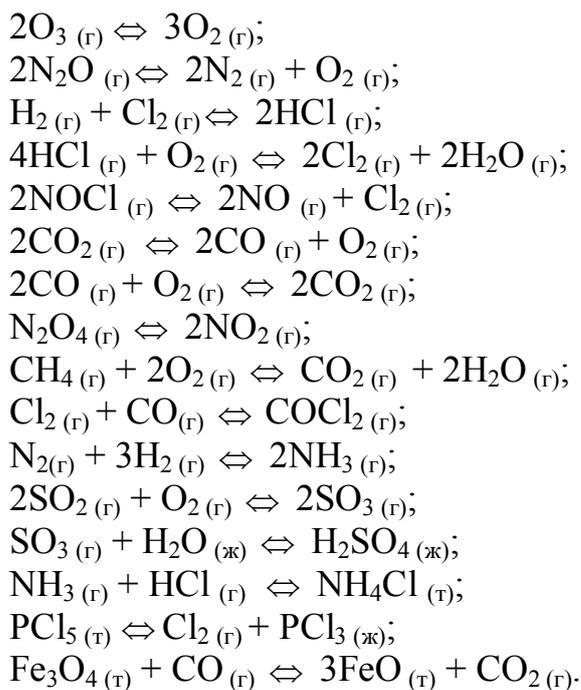
1. Напишите выражение ЗДМ для химических реакций



### Химическое равновесие

2. Напишите выражение константы равновесия для химических систем:





### Правило Вант-Гоффа

3. Скорость реакции при повышении температуры на каждые  $10^\circ$  увеличивается в 4 раза. Во сколько раз увеличится скорость реакции при повышении температуры с  $40^\circ\text{C}$  до  $80^\circ\text{C}$ ?

4. Температурный коэффициент скорости некоторой реакции равен 2,2. Во сколько раз возрастет скорость реакции при увеличении температуры от  $45^\circ\text{C}$  до  $65^\circ\text{C}$ ?

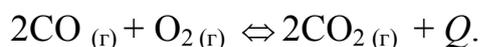
5. Температурный коэффициент скорости реакции равен 3,0. Во сколько раз увеличится скорость реакции при повышении температуры на  $60^\circ\text{C}$ ?

6. При повышении температуры на  $10^\circ\text{C}$  скорость реакции возрастет в 3,5 раза. Во сколько раз увеличится скорость реакции при повышении температуры со  $120^\circ\text{C}$  до  $190^\circ\text{C}$ ?

7. При повышении температуры на каждые  $10^\circ\text{C}$  скорость реакции возрастает в 2,7 раза. Во сколько раз увеличится скорость реакции при повышении температуры на  $50^\circ\text{C}$ ?

### Средний уровень Примеры решения задач

1. Напишите выражение  $\mathcal{G}_{\text{пр.}}$ ,  $\mathcal{G}_{\text{обр.}}$  и  $K$  для химической системы





В какую сторону сместится равновесие при повышении температуры? Как сместится равновесие, если при постоянной температуре увеличить давление? Как повлияет на смещение равновесия увеличение концентрации  $O_2$  и уменьшение концентрации  $CO$ ?

*Решение:* Химическая система является гомогенной, отсюда

$$\mathfrak{Q}_{пр.} = k_{пр} [CO]^2 \cdot [O_2];$$

$$\mathfrak{Q}_{обр.} = k_{обр} [CO_2]^2;$$

$$K = \frac{[CO_2]^2}{[CO] \cdot [O_2]}.$$

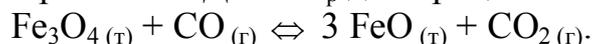
Повышение температуры сместит равновесие влево, в сторону эндотермической реакции. Выход  $CO_2$  при этом уменьшится.

Увеличение давления сместит равновесие в сторону меньшего объема веществ, то есть вправо в сторону продукта реакции  $CO_2$ .

Увеличение концентрации  $O_2$  повлечет за собой увеличение  $\mathfrak{Q}_{пр.}$  и смещение равновесия вправо.

Уменьшение концентрации  $CO$  приведет к уменьшению  $\mathfrak{Q}_{пр.}$  и превышению  $\mathfrak{Q}_{обр.}$  над  $\mathfrak{Q}_{пр.}$  на некоторое время. Равновесие сместится влево.

2. Напишите выражение ЗДМ и  $K_p$  для процесса



В какую сторону сместится равновесие в системе при повышении давления? Как повлияет на смещение равновесия увеличение концентрации  $CO_2$  и уменьшение концентрации  $CO$ ?

*Решение:* Химическая система является гетерогенной, отсюда:

$$\mathfrak{Q}_{пр.} = k_{пр} [CO];$$

$$\mathfrak{Q}_{обр.} = k_{обр} [CO_2];$$

$$K_p = \frac{[CO_2]}{[CO]}.$$

Повышение давления (как и понижение) не влияет на смещение равновесия, так как объемы газообразных вещества: исходного ( $CO$ ) и продукта реакции ( $CO_2$ ), равны друг другу.

Увеличение концентрации  $CO_2$ , как и уменьшение концентрации  $CO$  приведет к возрастанию  $\mathfrak{Q}_{обр.}$  над  $\mathfrak{Q}_{пр.}$  и смещению равновесия влево, в сторону исходных веществ.

3. Температурный коэффициент скорости реакции равен 3,5. Как изменится скорость реакции при понижении температуры со  $135^\circ C$  до  $95^\circ C$ ?



Дано  
 $\gamma = 3,5$   
 $t_1 = 135^\circ \text{C}$   
 $t_2 = 95^\circ \text{C}$

---

$\frac{g_2}{g_1} = ?$

Решение:

При понижении температуры скорость реакции уменьшается согласно правилу Вант-Гоффа

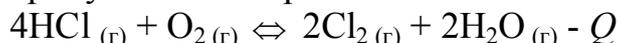
$$\frac{g_2}{g_1} = \gamma^{\frac{t_2 - t_1}{10}} = 3,5^{\frac{95 - 135}{10}} = 3,5^{-4} = \frac{1}{3,5^4} = \frac{1}{150}$$

Ответ: скорость реакции уменьшилась в 150 раз?

### Задачи для самостоятельного решения

## Химическая кинетика и химическое равновесие

1. В какую сторону сместится равновесие системы



при повышении давления; повышении температуры; уменьшении концентрации HCl; уменьшении концентрации Cl<sub>2</sub>? Напишите выражение  $K$ , выражение ЗДМ для прямой и обратной реакции.

2. Напишите выражение ЗДМ для прямой и обратной реакции и выразите  $K$  для процесса



Как сместится равновесие при изменении температуры; изменении давления; изменении концентраций реагирующих веществ и продуктов реакции?

3. Напишите выражение  $K$  и ЗДМ для прямой и обратной реакции в системе



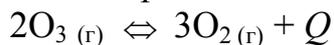
Как сместится равновесие при повышении температуры; при понижении давления; при увеличении концентрации N<sub>2</sub>O; при уменьшении концентрации N<sub>2</sub>?

4. В какую сторону сместится равновесие при повышении давления в системе



Как надо изменить температуру, чтобы сместить равновесие вправо? Как повлияет на смещения равновесия уменьшение концентрации NO и увеличение концентрации Cl<sub>2</sub>? Напишите выражение константы равновесия.

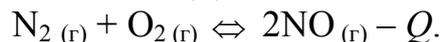
5. В какую сторону сместится равновесие процесса



при повышении давления; при увеличении концентрации озона; при увеличении концентрации кислорода? Как необходимо изменить температуру, чтобы сместить равновесие влево? Напишите выражение  $K$  и ЗДМ.



6. Напишите выражение  $K$  и ЗДМ для химического процесса



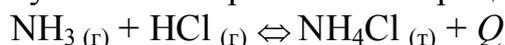
Как необходимо изменить температуру, чтобы увеличить выход NO? Как надо изменить концентрацию NO, чтобы увеличить выход  $\text{N}_2$  и  $\text{O}_2$ ? Как влияет давление на смещение равновесия?

7. Напишите выражение ЗДМ и  $K$  для химического процесса



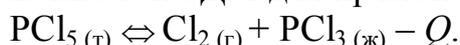
Куда сместится равновесие при повышении температуры? Как влияет давление на смещение равновесия? Как следует изменить концентрацию  $\text{CO}_2$ , чтобы уменьшить скорость сгорания метана?

8. В какую сторону сместится равновесие процесса



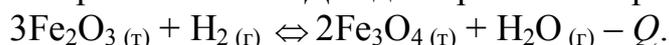
при повышении температуры; понижении давления? Напишите выражение  $K$  и ЗДМ для прямой и обратной реакции.

9. Напишите выражение  $K$  и ЗДМ для прямой и обратной реакции



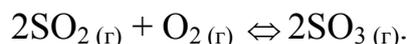
В какую сторону сместится равновесие при повышении температуры увеличении давления? Регулируя концентрации каких веществ, можно изменить выход  $\text{PCl}_5$ ?

10. Напишите выражение  $K$  и ЗДМ для прямой и обратной реакции



Как можно увеличить выход  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  путем изменения температуры, давления, концентрации водорода?

11. Напишите выражение для константы равновесия гомогенной системы



Как изменится скорость прямой реакции образования  $\text{SO}_3(\text{г})$ , если увеличить концентрацию  $\text{SO}_2$ , если увеличить концентрацию  $\text{SO}_2$  в 3 раза?

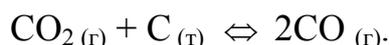
Как повлияет увеличение давления на смещение равновесия?

12. Напишите выражение для константы равновесия гомогенной системы



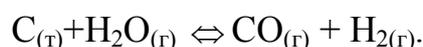
Как следует изменить температуру и давление, чтобы повысить выход водорода? Реакция образования водорода эндотермическая.

13. Напишите выражение для константы равновесия гетерогенной системы



Как изменится скорость прямой реакции образования CO, если концентрацию  $\text{CO}_2$  уменьшить в 4 раза? Как следует изменить давление, чтобы повысить выход CO?

14. Напишите выражение для константы равновесия гетерогенной системы





Как следует изменить концентрацию и давление, чтобы сместить равновесие в сторону обратной реакции – образования водных паров?

### Правило Вант-Гоффа

15. Вычислить во сколько раз уменьшится скорость реакции, протекающей в газовой фазе, если понизить температуру от 120 °С до 80 °С. Температурный коэффициент скорости реакции 3.

16. Как изменится скорость реакции, протекающей в газовой фазе, при повышении температуры на 60 °С, если температурный коэффициент скорости данной реакции 2,8?

17. Как изменится скорость газофазной реакции, если понизить температуру на 30 °С? Температурный коэффициент скорости реакции равен 3,2.

18. При повышении температуры на каждые 10 °С скорость газофазной химической реакции увеличивается в 3,5 раза. Как изменится скорость реакции при снижении температуры со 195 °С до 95 °С?

19. Как изменится скорость реакции, если понизить температуру на 85 °С? Температурный коэффициент скорости реакции равен 2,4.

20. При повышении температуры на каждые 10 °С скорость реакции увеличивается в 2,5 раза. Как изменится скорость реакции при увеличении температуры на 45 °С?

### Высший уровень Примеры решения задач

1. Для равновесия



напишите выражение  $K$ . Как изменится скорость прямой реакции, если при постоянной температуре увеличить концентрацию  $\text{CH}_4$  в 4 раза, а концентрацию  $\text{O}_2$  уменьшить в 2 раза? Куда сместится равновесие при повышении давления, при понижении температуры?

Решение: Для гомогенной реакции выражение константы равновесия запишется следующим образом

$$K = \frac{[\text{CO}_2] \cdot [\text{H}_2\text{O}]^2}{[\text{CH}_4] \cdot [\text{O}_2]^2}$$

Скорость прямой реакции зависит от концентрации исходных веществ согласно ЗДМ

$$v_{\text{пр}} = k_{\text{пр}} [\text{CH}_4] \cdot [\text{O}_2]$$



Если изменить концентрацию  $\text{CH}_4$  и  $\text{O}_2$ , то скорость прямой реакции не изменится, так как

$$\mathcal{V}'_{\text{пр}} = k_{\text{пр}} \cdot 4 \cdot [\text{CH}_4] \cdot \left( \frac{[\text{O}_2]^2}{2} \right) = k_{\text{пр}} \cdot \frac{4}{4} [\text{CH}_4] \cdot [\text{O}_2]^2 = \mathcal{V}_{\text{пр}}$$

При повышении давления равновесие не сместится, так как объемы исходных веществ и продуктов реакции равны.

При понижении температуры равновесие сместится в сторону экзотермической реакции, то есть вправо.

2. Для равновесной реакции



напишите выражение для константы равновесия.

В какую сторону сместится равновесие при увеличении давления в системе в 4 раза? Как надо изменить температуру, чтобы повысить выход  $\text{NOCl}$ ?

*Решение:*

$$K = \frac{[\text{NO}_2]^2 \cdot [\text{Cl}_2]}{[\text{NOCl}]^2}$$

Если увеличить давление в 4 раза, то в 4 раза увеличатся концентрации веществ, отсюда

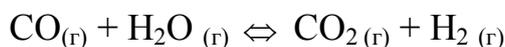
$$\mathcal{V}'_{\text{пр}} = k_{\text{пр}} (4 \cdot [\text{NOCl}])^2 = 16 \cdot k_{\text{пр}} \cdot [\text{NOCl}]^2 = 16 \cdot \mathcal{V}_{\text{пр}}$$

$$\mathcal{V}'_{\text{обр}} = k_{\text{обр}} (4 \cdot [\text{NO}])^2 \cdot 4 \cdot [\text{Cl}_2] = 64 \cdot k_{\text{обр}} \cdot [\text{NO}]^2 \cdot [\text{Cl}_2] = 64 \cdot \mathcal{V}_{\text{обр}}$$

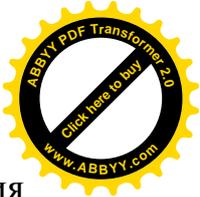
Таким образом, скорость обратной реакции возрастет больше, чем скорость прямой, отсюда можно сделать вывод, что равновесие сместится влево.

Чтобы увеличить выход  $\text{NOCl}$  необходимо повысить температуру, тогда равновесие сместится в сторону эндотермической реакции, то есть влево.

3. Константа равновесия гомогенной системы



при  $850^\circ\text{C}$  равна 1. Вычислите концентрации всех веществ при равновесии, если исходные концентрации  $[\text{CO}]_{\text{исх.}} = 3$  моль/л;  $[\text{H}_2\text{O}]_{\text{исх.}} = 2$  моль/л



Дано:  
 $[\text{CO}]_{\text{исх.}} = 3$  моль/л;  
 $[\text{H}_2\text{O}]_{\text{исх.}} = 2$  моль/л  
 $K = 1$

*Решение:* Выражение для константы равновесия данной гомогенной реакции

$$K = \frac{[\text{CO}_2] \cdot [\text{H}_2]}{[\text{CO}] \cdot [\text{H}_2\text{O}]} = 1$$

В выражение K входят равновесные концентрации веществ, их можно выразить следующим образом. Предположим, что к моменту равновесия концентрация  $[\text{CO}_2]_{\text{равн.}} = x$  моль/л. Согласно уравнению реакции  $[\text{H}_2]_{\text{равн.}}$  также будет равна  $x$  моль/л. Равновесные концентрации  $[\text{CO}]$  и  $[\text{H}_2\text{O}]$  будут, соответственно, равны  $(3-x)$  моль/л и  $(2-x)$  моль/л. Тогда

$$1 = \frac{x^2}{(3-x) \cdot (2-x)}$$

$$x^2 = 6 - 2x - 3x + x^2; x = 1,2 \text{ моль/л}$$

Таким образом, равновесные концентрации равны, моль/л:  $[\text{CO}_2] = 1,2$ ;  $[\text{H}_2] = 1,2$ ;  $[\text{CO}] = 3 - 1,2 = 1,8$ ;  $[\text{H}_2\text{O}] = 2 - 1,2 = 0,8$ .

$[\text{CO}]$ ;  $[\text{H}_2\text{O}]$ ;  $[\text{CO}_2]$ ;  
 $[\text{H}_2]$  - ?

4. Как необходимо изменить температуру, чтобы увеличить скорость газофазной реакции в 12036 раз, если температурный коэффициент скорости реакции равен 3,5?

Дано  
 $\gamma = 3,5$   
 $\frac{\vartheta_2}{\vartheta_1} = 12036$

*Решение:* Согласно правилу Вант-Гоффа

$$\frac{\vartheta_2}{\vartheta_1} = \gamma^{\frac{\Delta t}{10}}$$

$$12036 = 3,5^{\frac{\Delta t}{10}}$$

Прологарифмируем обе части выражения, тогда

$$\lg 12036 = \lg 3,5^{\frac{\Delta t}{10}} = \frac{\Delta t}{10} \lg 3,5$$



$$4,08 = \frac{\Delta t}{10} \cdot 0,54$$

$$\Delta t = \frac{4,08 \cdot 10}{0,54} = 75$$

Ответ: необходимо увеличить температуру на 75 °С

$\Delta t$ -?

5. Скорость химической реакции при 40°С равна 0,23 моль/л·с. Определите значение скорости реакции при 90 °С, если температурный коэффициент скорости реакции равен 2,0.

Дано

$$\gamma = 2$$

$$v_1 = 0,23 \frac{\text{моль}}{\text{л} \cdot \text{с}}$$

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

$$t_2 = 90^\circ\text{C}$$

Решение: Согласно правилу Вант-Гоффа

$$\frac{v_2}{v_1} = \gamma^{\frac{\Delta t}{10}}$$

$$v_2 = v_1 \cdot \gamma^{\frac{t_2 - t_1}{10}} = 0,23 \cdot 2^{\frac{90 - 40}{10}} = 0,23 \cdot 2^5 = 7,36 \frac{\text{МОЛЬ}}{\text{Л} \cdot \text{С}}$$

Ответ:  $v_2 = 7,36 \frac{\text{МОЛЬ}}{\text{Л} \cdot \text{С}}$

$v_2$  -?

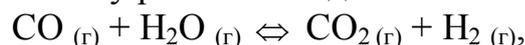
### Задачи для самостоятельного решения Химическая кинетика и химическое равновесие

1. Равновесие гомогенной системы:



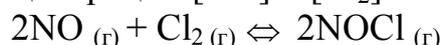
установилось при концентрациях реагирующих веществ, моль/л  $[\text{H}_2\text{O}] = 0,14$ ;  $[\text{Cl}_2] = 0,14$ ;  $[\text{HCl}] = 0,20$ ;  $[\text{O}_2] = 0,32$ . Вычислите исходные концентрации HCl и O<sub>2</sub>. Определите значение константы равновесия. В какую сторону сместится равновесие при понижении температуры? Как влияет давление на смещение равновесия?

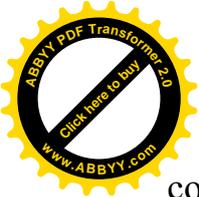
2. Вычислите константу равновесия для гомогенной системы:



если равновесные концентрации веществ равны моль/л:  $[\text{CO}] = 0,004$ ;  $[\text{H}_2\text{O}] = 0,064$ ;  $[\text{CO}_2] = 0,016$ ;  $[\text{H}_2] = 0,016$ . Чему равны исходные концентрации CO и воды?

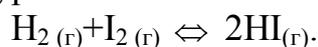
3. Исходные концентрации  $[\text{NO}]$  и  $[\text{Cl}_2]$  в гомогенной системе:





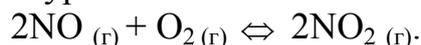
составляют, соответственно, 0,5 и 0,2 моль/л. Вычислите константу равновесия, если к моменту наступления равновесия прореагировало 20 %  $\text{NO}_2$ . Как влияет давление на смещение равновесия?

4. Реакция идет по уравнению:



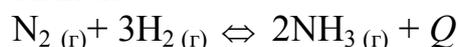
Константа равновесия при  $508^\circ\text{C}$  равна 3,5. Исходные концентрации реагирующих веществ равны, моль/л:  $[\text{H}_2]=0,04$ ;  $[\text{I}_2]=0,05$ . Вычислите равновесные концентрации реагирующих веществ.

5. Реакция идет по уравнению:



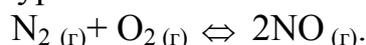
Концентрации исходных веществ равны, моль/л:  $[\text{NO}]=0,03$ ;  $[\text{O}_2]=0,05$ . Как изменится скорость реакции, если увеличить концентрацию  $\text{O}_2$  до 0,1 моль/л и концентрацию  $\text{NO}$  до 0,06 моль/л? Как повлияет на смещение равновесия уменьшение давления в 3 раза?

6. При синтезе аммиака:



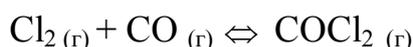
в равновесии находятся 0,1 моль/л  $\text{N}_2$ , 0,2 моль/л  $\text{H}_2$  и 0,8 моль/л  $\text{NH}_3$ . Вычислите константу равновесия и рассчитайте исходные концентрации азота и водорода. Как можно увеличить выход аммиака путем регулирования давления и температуры?

7. Реакция идет по уравнению:



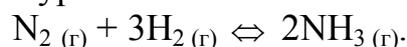
Концентрации веществ до начала реакции равны, моль/л:  $[\text{N}_2]=0,049$ ;  $[\text{O}_2]=0,01$ . Вычислите концентрацию этих веществ в момент, когда  $[\text{NO}]=0,005$  моль/л.

8. В системе:



концентрацию  $\text{CO}$  увеличили от 0,3 до 1,2 моль/л, а концентрацию хлора от 0,2 до 0,6 моль/л. Во сколько раз возросла скорость прямой реакции? Как необходимо изменить давление, чтобы уменьшить выход  $\text{COCl}_2$ ?

9. Реакция идет по уравнению:



Концентрации участвующих в ней веществ равны, моль/л:  $[\text{N}_2]=0,8$ ;  $[\text{H}_2]=1,5$ ;  $[\text{NH}_3]=0,1$ . Вычислите концентрацию водорода и аммиака, если  $[\text{N}_2]=0,5$  моль/л.

### Правило Вант-Гоффа

10. На сколько градусов необходимо увеличить температуру в системе  $\text{A} + \text{B} \rightleftharpoons \text{AB}$ , чтобы скорость прямой реакции увеличилась в 16 раз, если температурный коэффициент равен 2?



11. При увеличении температуры на  $20^{\circ}\text{C}$  скорость прямой реакции увеличилась в 4 раза, а обратной в 6,25 раза? Определите температурный коэффициент скорости прямой и обратной реакции.

12. На сколько градусов необходимо увеличить температуру в химически обратимой системе, чтобы скорость прямой реакции увеличилась в 729 раз при температурном коэффициенте скорости реакции 3?

13. Скорость химической реакции при  $20^{\circ}\text{C}$  равна  $0,14$  моль/л·с. Определите величину скорости реакции при  $75^{\circ}\text{C}$ , если температурный коэффициент равен 2,3.

14. Определите значение скорости реакции при  $120^{\circ}\text{C}$ , если его значение при  $90^{\circ}\text{C}$  составляет  $0,8$  моль/л·с, а температурный коэффициент равен 3,2.

15. При увеличении температуры на каждые  $10^{\circ}\text{C}$  скорость реакции увеличивается в 2,1 раза. На сколько градусов необходимо увеличить температуру в химической системе, чтобы скорость реакции увеличилась в 40,8 раз?

16. Определите значение скорости реакции при  $100^{\circ}\text{C}$ , если ее значение при  $25^{\circ}\text{C}$  составляет  $0,014$  моль/л·с, а температурный коэффициент равен 2,4.

17. При увеличении температуры на  $40^{\circ}\text{C}$  скорость прямой реакции увеличилась в 105 раз, а обратной в 16 раз. Определите температурные коэффициенты скорости прямой и обратной реакций.

18. На сколько градусов необходимо уменьшить температуру в химической системе, чтобы скорость реакции уменьшилась в 98 раз при температурном коэффициенте скорости реакции равном 2,5?

19. Чему равен температурный коэффициент скорости реакции, если при увеличении температуры на  $60^{\circ}\text{C}$  скорость реакции возрастает в 64 раза?

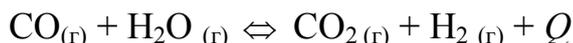
20. Чему равен температурный коэффициент скорости реакции, если при увеличении температуры на  $30^{\circ}\text{C}$  скорость реакции возрастает в 15,6 раза?

### Творческий уровень

#### Задачи для самостоятельного решения

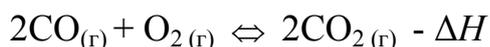
#### Химическая кинетика и химическое равновесие

1. Равновесие гомогенной системы:



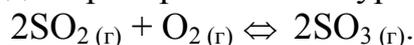
установилось при концентрациях реагирующих веществ, моль/л:  $[\text{CO}]=0,02$ ;  $[\text{H}_2\text{O}]=0,086$ ;  $[\text{CO}_2]=0,01$ ,  $[\text{H}_2]=0,01$ . Вычислите константу равновесия и исходные концентрации  $\text{CO}$  и  $\text{H}_2\text{O}$ . Предложите варианты изменения температуры, давления и концентрации  $\text{CO}$  и  $\text{H}_2$ , приводящие к повышению выхода углекислого газа.

2. Равновесные концентрации компонентов системы:



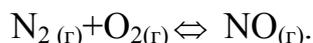
равны, моль/л:  $[\text{CO}]=0,014$ ;  $[\text{O}_2]=0,15$ ;  $[\text{CO}_2]=0,6$ . Вычислите константу равновесия и исходные концентрации  $\text{CO}$  и  $\text{O}_2$ . Предложите вариант изменения давления, температуры и концентрации  $\text{CO}$  и  $\text{O}_2$ , приводящие к уменьшению выхода  $\text{CO}_2$ . Что эффективнее: изменение концентрации  $\text{CO}$  или  $\text{O}_2$ ?

3. Окисление диоксида серы протекает по уравнению:



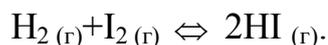
Как изменится скорость прямой реакции, если объем системы уменьшить в 4 раза? Сравните аналогичным уменьшением объема для реакции окисления серы  $\text{S}_{(г)} + \text{O}_{2(г)} \rightleftharpoons \text{SO}_{2(г)}$ .

4. Реакция идет по уравнению:



концентрации исходных веществ до начала реакции были, моль/л:  $[\text{N}_2]=0,049$ ;  $[\text{O}_2]=0,01$ . Вычислите концентрацию этих веществ в момент, когда  $[\text{NO}]=0,005$  моль/л.

5. Реакция идет по уравнению:



Константа равновесия при  $508^\circ\text{C}$  равна  $0,16$ . Исходные концентрации реагирующих веществ равны, моль/л:  $[\text{H}_2]=0,04$ ;  $[\text{I}_2]=0,05$ . Вычислите начальную скорость реакции и скорость ее, когда  $[\text{H}_2]=0,03$  моль/л.

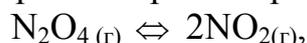
6. Экзотермическая реакция образования воды протекает по уравнению:



Предложите варианты изменения температуры, давления и концентрации компонентов, приводящие к смещению равновесия в сторону реакции образования воды.

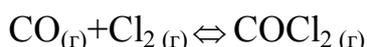
### Правило Вант-Гоффа

7. Как изменится скорость обратной реакции в системе:



если концентрацию  $\text{NO}_2$  уменьшили в 2 раза, а температуру понизили на  $30^\circ\text{C}$ . Температурный коэффициент скорости реакции равен 2.

8. Объем системы



увеличили в 3 раза и одновременно понизили температуру на  $20^\circ\text{C}$ . Как изменится скорость прямой реакции, если ее температурный коэффициент равен 2?

9. Две реакции протекают при  $25^\circ\text{C}$  с одинаковой скоростью. Температурный коэффициент скорости первой реакции равен 2, второй -2,5. Найти отношение скоростей этих реакций при  $95^\circ\text{C}$ .



10. При  $150^{\circ}\text{C}$  некоторая реакция заканчивается за 16 мин. Принимая температурный коэффициент скорости реакции равным 2,5, рассчитать, через какое время закончится эта реакция, если ее проводить при а)  $200^{\circ}\text{C}$ ; б)  $80^{\circ}\text{C}$ .

11. Реакция при температуре  $50^{\circ}\text{C}$  протекает за 2 мин 15 с. За какое время закончится эта реакция при температуре  $70^{\circ}\text{C}$ , если в данном температурном интервале температурный коэффициент скорости реакции равен 3?

12. При  $20^{\circ}\text{C}$  реакция протекает за 2 мин. За сколько времени будет протекать эта реакция при а)  $0^{\circ}\text{C}$ ; б) при  $50^{\circ}\text{C}$ ? Температурный коэффициент скорости реакции равен 2.

13. При температуре  $30^{\circ}\text{C}$  реакция протекает за 25 мин, при  $50^{\circ}\text{C}$  – за 4 мин. Рассчитайте температурный коэффициент скорости реакции.

14. Две реакции протекают при  $25^{\circ}\text{C}$  с одинаковой скоростью. Температурный коэффициент скорости первой реакции равен 3, а второй – 2,5. Найти отношение скоростей этих реакций при  $75^{\circ}\text{C}$ .

## Уравнение Аррениуса

### Пример решения задачи

15. Введение катализатора снижает энергию активации некоторой реакции на  $25,1$  кДж/моль. Во сколько раз увеличится скорость такой реакции при введении катализатора, если реакция протекает при  $298$  К?

Дано:  
 $\Delta E_a = 25,1$   
кДж/моль  
 $T = 298$  К

*Решение:* Обозначим энергию активации реакции без катализатора  $E_{\text{акт.1}}$ , а с катализатором -  $E_{\text{акт.2}}$ . Соответствующие константы скорости обозначим  $k_1$  и  $k_2$ . На основании уравнения Аррениуса получим

$$\frac{k_2}{k_1} = \frac{e^{-\frac{E_2}{RT}}}{e^{-\frac{E_1}{RT}}} = e^{\frac{(E_1 - E_2)}{RT}} = e^{\frac{\Delta E_{\text{акт}}}{RT}};$$

Отсюда  $\ln \frac{k_2}{k_1} = 2,3 \lg \frac{k_2}{k_1} = \frac{\Delta E_{\text{акт}}}{RT};$

$$\lg \frac{k_2}{k_1} = \frac{\Delta E_{\text{акт}}}{2,3 \cdot RT} = \frac{25,1 \cdot 10^3}{2,3 \cdot 8,31 \cdot 298} = 4,4;$$

или  $\frac{k_2}{k_1} = 2,5 \cdot 10^4.$



$$\frac{k_2}{k_1} = ?$$

Ответ: скорость реакции возрастет в 25000 раз.



### Задачи для самостоятельного решения

16. Во сколько раз уменьшится скорость реакции, протекающей при 298 К, если энергия активации ее увеличится на 3 кДж/моль?
17. При изменении температуры на 30 К скорость реакции возросла в 10 раз. Вычислите значение активации реакции.
18. Определите значение энергии активации для реакции, идущей в газовой фазе, если при понижении температуры с 300 до 280 °С скорость ее уменьшилась в 2 раза.
19. Во сколько раз увеличится скорость реакции, протекающей при 298 К, если энергию активации ее уменьшить на 4 кДж/моль?
20. Чему равна энергия активации реакции, если при повышении температуры от 290 К до 300 К скорость ее увеличится в 2 раза?
21. Каково значение энергии активации реакции, скорость которой при 300 К в 10 раз больше, чем при 280 К?
22. Энергия активации некоторой реакции равна 10 кДж/моль. Во сколько раз изменится скорость реакции при повышении температуры от 27 до 37 °С?

### Творческий уровень

#### Задачи для самостоятельного решения

#### Уравнение Аррениуса

1. Во сколько раз увеличиться скорость реакции, протекающей при 298 К, если энергию активации ее уменьшить на 4 кДж /моль?
2. Чему равна энергия активации реакции, если при повышении температуры от 290 до 300 К скорость ее увеличится в 2 раза?
3. Каково значение энергии активации реакции, скорость которой при 300 К в 10 раз больше, чем при 280 К?
4. Энергия активации некоторой реакции равна 10 кДж/моль. Во сколько раз изменится скорость реакции при повышении температуры от 27 до 37 °С?



## Тема № 2 «РАСТВОРЫ. КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРОВ»

### Теоретическая часть

**Раствор** – это твердая или жидкая гомогенная система, состоящая из двух или более компонентов. Выделяют два основных компонента: **растворимое вещество и растворитель**. Растворителем считают тот компонент, который не изменяет в растворе своего агрегатного состояния. Если же оба компонента раствора не изменяют агрегатного состояния, то растворителем считается тот компонент, которого больше.

Растворы бывают насыщенными и ненасыщенными. **Насыщенный раствор** находится в равновесии с растворяющимся веществом. Ненасыщенные растворы бывают разбавленными и концентрированными.

Состав раствора выражается через размерные величины – концентрации. Рассмотрим три основных вида концентраций.

**Процентная концентрация** – (массовая доля) показывает, сколько граммов растворенного вещества содержится в 100 г раствора

$$\omega, \% = \frac{m_{\text{раств.в-ва}} \cdot 100 \%}{m_{\text{раствора}}}$$

Процентная концентрация не зависит от природы вещества.

**Молярная концентрация** показывает, сколько г-моль растворенного вещества содержится в 1 л раствора

$$c = \frac{m}{M \cdot V} = \frac{n}{V}, \text{ моль/л или М}$$

где  $m$  – масса вещества, содержащаяся в 1 л раствора, г;

$M$  – молярная масса, г/моль.

**Нормальная (эквивалентная) концентрация** показывает, сколько г-экв растворенного вещества содержится в 1 л раствора

$$N = \frac{m}{\text{Э}}, \frac{\text{г-экв}}{\text{л}} \text{ или Н,}$$

где  $\text{Э}$  – эквивалент вещества, г/экв;

**Эквиваленты сложных веществ** определяются по формулам:

$$\text{Э}_{\text{кислоты}} = \frac{M_{\text{кислоты}}}{\text{количество атомов водорода (основность кислоты)}}.$$



$$\text{Например, } \mathcal{E}_{\text{H}_2\text{SO}_4} = \frac{M_{\text{H}_2\text{SO}_4}}{2} = \frac{98}{2} = 49 \frac{\text{г}}{\text{экв.}}$$

$$\mathcal{E}_{\text{основания}} = \frac{M_{\text{основания}}}{\text{количество гидроксильных групп (кислотность основания)}}$$

$$\text{Например, } \mathcal{E}_{\text{Ca(OH)}_2} = \frac{M_{\text{Ca(OH)}_2}}{2} = \frac{74}{2} = 37 \frac{\text{г}}{\text{экв.}}$$

$$\mathcal{E}_{\text{соли}} = \frac{M_{\text{соли}}}{\text{степень окисления металла} \cdot \text{количество ионов металла в соли}}$$

$$\text{Например, } \mathcal{E}_{\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3} = \frac{M_{\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3}}{2 \cdot 3} = \frac{390}{6} = 65 \frac{\text{г}}{\text{экв.}}$$

**Закон эквивалентов:** объемы растворов реагирующих веществ обратнопропорциональны их нормальным концентрациям

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_2}{N_1} \text{ или } V_1 \cdot N_1 = V_2 \cdot N_2.$$

Закон эквивалентов является следствием того, что вещества реагируют в эквивалентных количествах. По закону эквивалентов можно определять объемы и концентрации реагирующих веществ.

### Начальный уровень Примеры решения задач Процентная концентрация

1. Сколько граммов растворенного вещества содержится в 400 г 60 % раствора?

*Дано:*  
 $\omega = 60\%$   
 $m_{\text{р-ра}} = 400 \text{ г}$

*Решение:*  
Вариант 1  
Из формулы для определения процентной концентрации выразим  $m_{\text{в-ва}}$

$$m_{\text{в-ва}} = \frac{m_{\text{р-ра}} \cdot \omega}{100} = \frac{400 \cdot 60}{100} = 240 \text{ г}$$



$m_{\text{в-ва}} - ?$

Вариант 2

Подобные задачи можно решать с использованием пропорции

100 г раствора содержат 60 г растворенного вещества

400 г раствора -  $m$  растворенного вещества.

$$m = \frac{400 \cdot 60}{100} = 240 \text{ г}$$

Ответ: 240 г

2. Вычислить процентную концентрацию соли в растворе, полученном при растворении KCl массой 50 г в воде массой 350 г.

Дано:

$$m_{\text{в-ва}} = 50 \text{ г}$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = 350 \text{ г}$$

$\omega - ?$

Решение:

а) Найдем массу раствора

$$m_{\text{р-ра}} = m_{\text{в-ва}} + m_{\text{H}_2\text{O}} = 50 + 350 = 400 \text{ г}$$

б) Найдем процентную концентрацию раствора

$$\omega\% = \frac{m_{\text{вещества}} \cdot 100\%}{m_{\text{раствора}}} = \frac{50 \cdot 100}{400} = 12,5\%$$

Ответ: 12,5 %

3. Необходимо приготовить 10 % раствор, полностью растворив 50 г щелочи. Сколько граммов раствора Вы получите? Сколько граммов воды потребуется?

Дано:

$$\omega = 10 \%$$

$$m_{\text{вещества}} = 50 \text{ г}$$

$m_{\text{р-ра}} - ?$

$m_{\text{H}_2\text{O}} - ?$

Решение:

а) Найдем массу полученного раствора

$$m_{\text{р-ра}} = \frac{m_{\text{в-ва}} \cdot 100}{\omega} = \frac{50 \cdot 100}{10} = 500 \text{ г}$$

б) Найдем массу воды

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = m_{\text{р-ра}} - m_{\text{в-ва}} = 500 - 50 = 450 \text{ г}$$

Ответ: 500 г, 450 г



4. Приготовьте 40 % раствор соли, полностью израсходовав 120 г растворителя? Какая масса соли вам потребуется? Сколько граммов раствора вы получите?

*Дано:*

$$\omega = 40 \%$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = 120 \text{ г}$$

---

$$m_{\text{в-ва}} - ?$$

$$m_{\text{р-ра}} - ?$$

*Решение:*

а) Раствор является 40 %-ным по соли и 60 %-ным по воде, отсюда найдем массу раствора

$$\omega_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot 100 \%}{m_{\text{р-ра}}}$$

или

$$m_{\text{р-ра}} = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot 100}{\omega_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{120 \cdot 100}{60} = 200 \text{ г}$$

б) Найдем массу соли

$$m_{\text{в-ва}} = m_{\text{р-ра}} - m_{\text{H}_2\text{O}} = 200 - 120 = 80 \text{ г}$$

*Ответ:* 80 г, 200 г

5. Сколько граммов воды необходимо взять для растворения КОН массой 30 г, чтобы приготовить 15 %-ный раствор? Какова масса полученного раствора?

*Дано:*

$$\omega = 15 \%$$

$$m_{\text{в-ва}} = 30 \text{ г}$$

---

$$m_{\text{р-ра}} - ?$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} - ?$$

*Решение:*

а) Найдем массу раствора

$$m_{\text{р-ра}} = \frac{m_{\text{в-ва}} \cdot 100}{\omega} = \frac{30 \cdot 100}{15} = 200 \text{ г}$$

б) Найдем массу воды

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = m_{\text{р-ра}} - m_{\text{в-ва}} = 200 - 30 = 170 \text{ г}$$

*Ответ:* 170 г, 200 г

### Молярная и нормальная концентрация

6. Сколько граммов растворенного вещества содержит 1 л следующих растворов: а) 0,3 М  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ; б) 0,1 М  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ ; в) 0,2 Н  $\text{AlCl}_3$ ; г) 0,5 Н  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ?



Дано:

$$V = 1 \text{ л}$$

$$C_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 0,3 \text{ М}$$

$$C_{\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3} = 0,1 \text{ М}$$

$$N_{\text{AlCl}_3} = 0,2 \text{ Н}$$

$$N_{\text{Ca}(\text{OH})_2} = 0,5 \text{ Н}$$

$$m_{\text{AlCl}_3} - ?$$

$$m_{\text{Ca}(\text{OH})_2} - ?$$

$$m_{\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3} - ?$$

$$m_{\text{H}_2\text{SO}_4} - ?$$

Решение:

а) Найдем массу  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , которая содержится в 1 л 0,3 М раствора. Из формулы:  $n = \frac{m}{M}$  выразим  $m$  – массу  $\text{H}_2\text{SO}_4$

$$m = n \cdot M = 0,3 \cdot 98 = 29,4 \text{ г.}$$

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

б) Найдем массу  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ , содержащуюся в 1 л 0,1 М раствора

$$m = n \cdot M = 0,1 \cdot 390 = 39 \text{ г}$$

$$M_{\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3} = 2 \cdot 52 + 3 \cdot (32 + 4 \cdot 16) = 390 \text{ г/моль}$$

в) Найдем массу  $\text{AlCl}_3$ , которая содержится в 1 л 0,2 Н раствора

$$m = N \cdot \mathcal{E} \cdot V = 0,2 \cdot 44,5 \cdot 1 = 8,9 \text{ г}$$

$$\mathcal{E}_{\text{AlCl}_3} = \frac{M_{\text{AlCl}_3}}{3} = \frac{133,5}{3} = 44,5 \text{ г/экв.}$$

г) Найдем массу  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , содержащуюся в 1 л 0,5 Н раствора

$$m = N \cdot \mathcal{E} \cdot V = 0,5 \cdot 37 \cdot 1 = 18,5 \text{ г}$$

$$\mathcal{E}_{\text{Ca}(\text{OH})_2} = \frac{M_{\text{Ca}(\text{OH})_2}}{2} = \frac{74}{2} = 37 \text{ г/экв.}$$

Ответ: 29,4 г, 39 г, 8,9 г, 18,5 г

7. В 250 мл раствора  $\text{K}_2\text{SO}_4$  содержится 8,7 г соли. Найдите молярную и нормальную концентрацию раствора.

Дано:

$$V = 250 \text{ мл}$$

$$m = 8,7 \text{ г}$$

Решение:

а) Найдем массу вещества, содержащегося в 1 л раствора  
250 мл раствора – 8,7 г соли



$n - ?$   
 $N - ?$

1000 мл раствора -  $m$

$$m = \frac{1000 \cdot 8,7}{250} = 34,8 \text{ г}$$

б) Найдем молярную концентрацию

$$n = \frac{m}{M} = \frac{34,8}{174} = 0,2 \text{ М}$$

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

в) Найдем нормальную концентрацию

$$N = \frac{m}{\Xi} = \frac{34,8}{87} = 0,4 \text{ Н}$$

$$\Xi_{\text{K}_2\text{SO}_4} = \frac{M_{\text{K}_2\text{SO}_4}}{3} = \frac{174}{2} = 87 \text{ г/экв.}$$

Ответ: 0,2 М; 0,4 Н

8. В каком объеме 0,1 М и 0,1 Н растворов содержится 8 г  $\text{CuSO}_4$ ?

Дано:

$n = 0,1 \text{ М}$   
 $N = 0,1 \text{ Н}$   
 $m = 8 \text{ г}$

Решение:

а) Найдем массу  $\text{CuSO}_4$ , которая содержится в 1 л 0,1 М и 0,1 Н растворов

$$m_1 = n \cdot M = 0,1 \cdot 160 = 16 \text{ г}$$

$$M_{\text{CuSO}_4} = 64 + 32 + 4 \cdot 16 = 160 \text{ г/моль}$$

$$m_2 = N \cdot \Xi \cdot V = 0,1 \cdot 80 \cdot 1 = 8 \text{ г}$$

$$\Xi_{\text{CuSO}_4} = \frac{M_{\text{CuSO}_4}}{2} = \frac{160}{2} = 80 \text{ г/экв.}$$

б) Найдем объемы  $V_1$  и  $V_2$ :

1000 мл раствора содержат 16 г  $\text{CuSO}_4$   
 $V_1$  мл - 8 г

$$V_1 = \frac{1000 \cdot 8}{16} = 500 \text{ мл}$$

$V_1 - ?$   
 $V_2 - ?$



1000 мл раствора содержат 8 г  $\text{CuSO}_4$

$V_2$  мл - 8 г

$$V_2 = \frac{1000 \cdot 8}{8} = 1000 \text{ мл.}$$

*Ответ:* 500 мл, 1000мл

### Закон эквивалентов

9. Для нейтрализации 20 мл 0,1 Н раствора кислоты потребовалось 8 мл раствора NaOH. Определите нормальную концентрацию раствора щелочи.

*Дано:*

$$V_1 = 20 \text{ мл}$$

$$V_2 = 8 \text{ мл}$$

$$N_1 = 0,1 \text{ Н}$$

$N_2 = ?$

*Решение:*

Воспользуемся законом эквивалентов

$$V_1 \cdot N_1 = V_2 \cdot N_2.$$

$$\text{Отсюда } N_2 = \frac{V_1 \cdot N_1}{V_2} = \frac{20 \cdot 0,1}{8} = 0,25 \text{ Н}$$

*Ответ:* 0,25 Н

### Задачи для самостоятельного решения

#### Процентная концентрация

1. Сколько граммов сульфата меди и воды содержится в 8 % растворе массой 600 г?

2. Сколько граммов сульфата калия содержится в 6 % растворе массой 800 г? Сколько граммов воды в этом растворе?

3. Сколько граммов соли и воды необходимо взять для приготовления 400 г 20 % раствора соли?

4. Сколько граммов сахара и воды необходимо взять для приготовления 20 % раствора массой 600 г?

5. В растворе массой 800 г содержится соль массой 40 г. Вычислите процентную концентрацию раствора.



6. Вычислите процентную концентрацию соли в растворе, полученном растворением нитрата калия массой 20 г в воде массой 180 г.

7. В 420 г воды растворено 180 г щелочи. Определите процентную концентрацию полученного раствора.

8. В 500 г воды растворено 150 г сахара. Определите процентную концентрацию полученного раствора.

9. Необходимо приготовить 25 % раствор, полностью растворив 75 г соли. Сколько граммов растворителя понадобится? Сколько граммов раствора вы получите?

10. Необходимо приготовить 15 % раствор, полностью растворив 36 г щелочи. Сколько граммов раствора вы получите? Какая масса воды потребуется?

11. Необходимо приготовить 50 % раствор, полностью растворив 25 г соли. Сколько граммов растворителя необходимо взять? Какую массу раствора вы получите?

12. Для приготовления 15 % раствора соли имеется 50 г воды. Сколько граммов раствора получится? Сколько граммов соли необходимо взять?

13. Приготовьте 50 % раствор соли, полностью израсходовав 25 г растворителя. Сколько граммов соли необходимо взять? Сколько граммов раствора вы получите?

14. В каком количестве воды следует растворить 50 г  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , чтобы получить 10 % раствор кислоты? Сколько граммов раствора вы получите?

15. Сколько граммов воды необходимо взять для растворения NaCl массой 20 г, чтобы приготовить 10 % раствор соли? Сколько граммов раствора вы получите?

16. Какую массу фосфата калия и воды надо взять для приготовления раствора с массовой долей  $\text{K}_3\text{PO}_4$  8 % массой 250 г?

17. Какую массу соли и воды необходимо взять для приготовления раствора с массовой долей сульфата натрия 0,12 массой 40 кг?

18. В воде объемом 200 мл растворили соль массой 40 г. Определите массовую долю соли в полученном растворе, приняв плотность воды равной 1 г/мл.

19. Найти массовую долю глюкозы в растворе, содержащем 280 г воды и 40 г глюкозы.

20. Найти массовую долю щелочи в растворе, полученном растворением 56 г щелочи в 114 г воды.

### **Молярная и нормальная концентрация**

21. Сколько граммов  $\text{CuSO}_4$  необходимо для приготовления 250 мл 0,05 М раствора соли?



22. Сколько граммов растворенного вещества содержат 1 л 0,3 М раствора  $\text{H}_3\text{PO}_4$  и 1 л 0,2 Н раствора  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ?

23. Сколько граммов  $\text{NaCl}$  необходимо для приготовления 200 мл 0,1 Н раствора?

24. Сколько граммов  $\text{FeSO}_4$  необходимо для приготовления 200 мл 0,04 Н раствора?

25. Найдите массу  $\text{NaNO}_3$ , необходимую для приготовления 300 мл 0,2 М раствора соли.

26. Сколько граммов растворенного вещества содержит 1 л следующих растворов:

а) 0,1 Н  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ;

б) 0,3 М  $\text{NaOH}$ ;

в) 0,1 М  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ?

27. Необходимо приготовить 0,5 л 0,2 Н раствора  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Рассчитайте массу соды.

28. Сколько граммов растворенного вещества содержит 1 л следующих растворов:

а) 0,3 Н  $\text{AlCl}_3$ ;

б) 0,3 М  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ;

в) 0,1 М  $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$ ;

г) 0,2 Н  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ?

29. В 300 мл раствора  $\text{CaCl}_2$  содержится 111 г соли. Найдите молярную и нормальную концентрацию раствора  $\text{CaCl}_2$ .

30. В 100 мл раствора  $\text{H}_3\text{PO}_4$  содержится 19,6 г кислоты. Найдите молярную и нормальную концентрацию раствора  $\text{H}_3\text{PO}_4$ .

31. 400 мл раствора содержат 0,365 г  $\text{HCl}$ . Рассчитайте молярную и эквивалентную концентрацию  $\text{HCl}$ .

32. 500 мл раствора содержат 18,5 г  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Определите молярную и эквивалентную концентрацию  $\text{HCl}$ .

33. В 500 мл раствора  $\text{FeSO}_4$  содержится 7,6 г соли. Найдите молярную и нормальную концентрацию раствора  $\text{FeSO}_4$ .

34. В 120 мл раствора  $\text{H}_3\text{PO}_4$  содержится 9,8 г кислоты. Найдите молярную и эквивалентную концентрацию раствора.

35. 200 мл раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$  содержат 39,2 г кислоты. Определите молярную и нормальную концентрацию раствора.

36. В каком объеме 0,2 М раствора  $\text{NiSO}_4$  содержится 20 г соли?

37. В каком объеме 0,2 М раствора содержится 24,5 г  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ?

38. В каком объеме 2 М раствора и в каком объеме 0,5 Н раствора содержится 114 г  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ?

39. В каком объеме 0,01 М раствора  $\text{FeSO}_4$  содержится 35,5 г соли?



## Закон эквивалентов

40. Для нейтрализации 50 мл раствора  $H_2SO_4$  израсходовано 25 мл 0,4 Н раствора щелочи. Определите нормальную концентрацию раствора  $H_2SO_4$ .

41. Для нейтрализации 50 мл раствора щелочи израсходовано 25 мл 0,01 Н раствора  $HCl$ . Определите эквивалентную концентрацию раствора щелочи.

42. На нейтрализацию 2 Н раствора щелочи израсходовали 20 мл 1,5 Н раствора кислоты. Какой объем щелочи нейтрализован?

43. На нейтрализацию 0,01 Н раствора  $HCl$  пошло 15 мл 0,1 Н раствора  $NaOH$ . Какой объем кислоты нейтрализован?

44. На нейтрализацию  $31 \text{ см}^3$  0,16 Н раствора щелочи требуется  $217 \text{ см}^3$  раствора  $H_2SO_4$ . Чему равна нормальная концентрация раствора  $H_2SO_4$ ? Чему равна нормальная концентрация раствора  $H_2SO_4$ ?

### Средний уровень

#### Примеры решения задач

#### Процентная концентрация

1. К 10 % раствору  $Ca(NO_3)_2$  массой 400 г добавили воду массой 100 г. Вычислите массовую долю  $Ca(NO_3)_2$  в полученном растворе.

Дано:

$$\omega_1 = 10 \%$$

$$m_{1\text{р-ра}} = 400 \text{ г}$$

$$\Delta m_{H_2O} = 100 \text{ г}$$

---

$$\omega_2 = ?$$

Решение:

а) Найдем массу вещества в 400 г 10 % раствора

$$m_{\text{в-ва}} = \frac{\omega \cdot m_{\text{р-ра}}}{100} = \frac{10 \cdot 400}{100} = 40 \text{ г}$$

б) Найдем массу полученного раствора

$$m_{2\text{р-ра}} = m_{1\text{р-ра}} + \Delta m_{H_2O} = 400 + 100 = 500 \text{ г}$$

в) Вычислим массовую долю  $Ca(NO_3)_2$  в полученном растворе

$$\omega_2 = \frac{m_{\text{в-ва}} \cdot 100\%}{m_{2\text{р-ра}}} = \frac{40 \cdot 100}{500} = 8 \%$$

Ответ: 8 %.

2. Смешали 400 г 50 % раствора и 100 г 70 % раствора сахара. Какой массы и концентрации получится раствор?



Дано:

$$m_{1\text{р-ра}} = 400 \text{ г}$$

$$m_{2\text{р-ра}} = 100 \text{ г}$$

$$\omega_1 = 50 \%$$

$$\omega_2 = 70 \%$$

---

$$\omega_3 = ?$$

Решение:

а) Найдем массу сахара в первом растворе

$$m_{1\text{в-ва}} = \frac{\omega_1 \cdot m_{1\text{р-ра}}}{100} = \frac{50 \cdot 400}{100} = 200 \text{ г}$$

б) Найдем массу сахара во втором растворе

$$m_{2\text{в-ва}} = \frac{\omega_2 \cdot m_{2\text{р-ра}}}{100} = \frac{70 \cdot 100}{100} = 70 \text{ г}$$

в) Найдем массу сахара в образовавшемся растворе

$$m_{3\text{в-ва}} = m_{1\text{в-ва}} + m_{2\text{в-ва}} = 200 + 70 = 270 \text{ г}$$

г) Найдем массу образовавшегося раствора

$$m_{3\text{р-ра}} = m_{1\text{р-ра}} + m_{2\text{р-ра}} = 400 + 100 = 500 \text{ г}$$

$$m_{3\text{р-ра}} = m_{1\text{р-ра}} + m_{2\text{р-ра}} = 400 + 100 = 500 \text{ г}$$

д) Найдем процентную концентрацию образовавшегося раствора

$$\omega_3 = \frac{m_{3\text{в-ва}} \cdot 100\%}{m_{3\text{р-ра}}} = \frac{270 \cdot 100}{500} = 54 \%$$

Ответ: 500 г, 54 %.

3. После частичного упаривания 4 % раствора  $\text{CuSO}_4$  массой 800 г получили раствор, масса которого равна 500 г. Вычислите массовую долю  $\text{CuSO}_4$  в полученном растворе.

Дано:

$$\omega_1 = 4 \%$$

$$m_{1\text{р-ра}} = 800 \text{ г}$$

$$m_{2\text{р-ра}} = 500 \text{ г}$$

---

$$\omega_2 = ?$$

Решение:

а) Найдем массу вещества в растворе

$$m_{1\text{в-ва}} = \frac{\omega_1 \cdot m_{1\text{р-ра}}}{100} = \frac{800 \cdot 4}{100} = 32 \text{ г}$$

Такая же будет масса вещества в образовавшемся растворе или  $m_{1\text{в-ва}} = m_{2\text{в-ва}}$ .

б) Найдем процентную концентрацию  $\text{CuSO}_4$  в образовавшемся растворе

$$\omega_2 = \frac{m_{2\text{в-ва}} \cdot 100\%}{m_{2\text{р-ра}}} = \frac{32 \cdot 100}{500} = 6,4 \%$$



Ответ: 6,4 %.

4. Из 400 г 20 % раствора при охлаждении выделилось 50 г растворенного вещества. Чему равна процентная концентрация вещества в образовавшемся растворе?

Дано:  
 $\omega_1 = 20 \%$   
 $m_{1р-ра} = 400 \text{ г}$   
 $\Delta m_{в-ва} = 50 \text{ г}$

$\omega_2 = ?$

Решение:

а) Найдем массу образовавшегося раствора

$$m_{2р-ра} = m_{1р-ра} - \Delta m_{в-ва} = 400 - 50 = 350 \text{ г}$$

б) Найдем массу вещества в первоначальном растворе

$$m_{1в-ва} = \frac{\omega_1 \cdot m_{1р-ра}}{100} = \frac{400 \cdot 20}{100} = 80 \text{ г}$$

в) Найдем массу вещества в образовавшемся растворе

$$m_{2в-ва} = m_{1в-ва} - \Delta m_{в-ва} = 80 - 50 = 30 \text{ г}$$

г) Найдем процентную концентрацию вещества в образовавшемся растворе

$$\omega_2 = \frac{m_{2в-ва} \cdot 100\%}{m_{2р-ра}} = \frac{30 \cdot 100}{350} = 8,6 \%$$

Ответ: 8,6 %.

### Молярная и нормальная концентрация

5. 500 мл 0,2 Н раствора  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  упарили до 200 мл. Вычислите нормальную и молярную концентрации полученного раствора.

Дано:  
 $V_1 = 500 \text{ мл}$   
 $N_1 = 0,2 \text{ Н}$   
 $V_2 = 200 \text{ мл}$   
 $C_2 = ?$     $N_2 = ?$

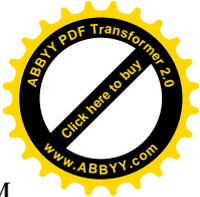
Решение:

а) Найдем число г-экв  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  в первоначальном растворе

1000 мл раствора содержит 0,2 г-экв

500 мл -  $n_1$

$$n_1 = \frac{500 \cdot 0,2}{1000} = 0,1 \text{ г-экв}$$



б) Найдём нормальную концентрацию соли в новом растворе, учитывая, что он содержит 0,1 г-экв  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$   
 200 мл - 0,1 г-экв  
 1000 мл -  $N_2$

$$N_2 = \frac{1000 \cdot 0,1}{500} = 0,5 \text{ г-экв/л}$$

в) Найдём молярную концентрацию соли в полученном растворе. Учитывая, что эквивалент  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  меньше его молярной массы в 6 раз, делаем вывод, что нормальная концентрация больше молярной в 6 раз. Отсюда

$$C_2 = \frac{N_2}{6} = \frac{0,5}{6} = 0,083 \text{ моль/л}$$

Ответ: 0,5 Н; 0,083 М

6. Смешали 100 мл 3 Н раствора с 500 мл 0,25 Н раствора этого же вещества. Вычислите нормальную концентрацию полученного раствора.

Дано:  
 $V_1 = 100 \text{ мл}$   
 $N_1 = 3 \text{ Н}$   
 $V_2 = 500 \text{ мл}$   
 $N_2 = 0,25 \text{ Н}$   


---

 $N_3 - ?$

Решение:

а) Найдём число г-экв вещества в первом растворе  
 1000 мл раствора содержат 3 г-экв  
 100 мл —  $n_1$

$$n_1 = \frac{100 \cdot 3}{1000} = 0,3 \text{ г-экв}$$

б) Найдём число г-экв вещества во втором растворе  
 1000 мл раствора — 0,25 г-экв  
 500 мл —  $n_2$

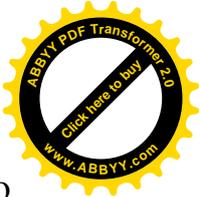
$$n_2 = \frac{500 \cdot 0,25}{1000} = 0,125 \text{ г-экв}$$

в) Найдём число г-экв вещества в образовавшемся растворе

$$n_3 = n_1 + n_2 = 0,3 + 0,125 = 0,425 \text{ г-экв}$$

г) Найдём объем образовавшегося раствора

$$V_3 = V_1 + V_2 = 100 + 500 = 600 \text{ мл}$$



д) Найдем нормальную концентрацию образовавшегося раствора

600 мл раствора – 0,425 г-экв

1000 мл –  $N_3$

$$N_3 = \frac{1000 \cdot 0,425}{600} = 0,71 \text{ г-экв/л}$$

Ответ: 0,71 Н

### Закон эквивалентов

7. На нейтрализацию 100 мл 0,5 Н раствора HCl израсходовано 80 мл раствора KOH. Определите, сколько граммов KOH содержится в 5 л данного раствора.

Дано:

$$V_1 = 100 \text{ мл}$$

$$N_1 = 0,5 \text{ Н}$$

$$V_2 = 80 \text{ мл}$$

---


$$m_{2(5л)} - ?$$

Решение:

а) Найдем нормальную концентрацию раствора KOH

$$N_2 = \frac{V_1 \cdot N_1}{V_2} = \frac{100 \cdot 0,5}{80} = 0,625 \text{ г-экв/л}$$

б) Найдем эквивалент KOH

$$\mathcal{E}_{\text{KOH}} = \frac{M_{\text{KOH}}}{1} = 39 + 16 + 1 = 56 \text{ г/экв}$$

в) Найдем массу KOH в 5 л раствора

$$m = N_2 \cdot \mathcal{E} \cdot 5 = 0,625 \cdot 56 \cdot 5 = 175 \text{ г}$$

Ответ: 175 г

8. Сколько мл 0,5 М раствора  $H_2SO_4$  можно приготовить из 15 мл 2,5 М раствора?

Дано:

$$V_1 = 15 \text{ мл}$$

$$v_1 = 2,5 \text{ М}$$

$$v_2 = 0,5 \text{ М}$$

---


$$V_2 - ?$$

Решение:

Можно воспользоваться законом эквивалентов

$$N_1 \cdot V_1 = N_2 \cdot V_2,$$

отсюда

$$V_2 = \frac{N_1 \cdot V_1}{N_2},$$



так  $V_2$  определяется по отношению концентраций, то  $\frac{N_1}{N_2}$  можно заменить на  $\frac{v_1}{v_2}$ , тогда

$$V_2 = \frac{v_1 \cdot V_1}{v_2} = \frac{2,5 \cdot 15}{0,5} = 75 \text{ мл}$$

*Ответ:* 75 мл

### Задачи для самостоятельного решения Процентная концентрация

1. К 200 г 20 % раствора KOH прибавили 60 г воды. Определите процентную концентрацию полученного раствора.
2. 300 г 40 % раствора кислоты разбавили 200 г воды. Определите массовую долю кислоты в полученном растворе.
3. К 400 г 15 % раствора  $AlCl_3$  добавили 80 г воды. Определите процентную концентрацию полученного раствора.
4. Смешали 100 г 15 % раствора соли и 600 г 20 % её раствора. Вычислите процентную концентрацию соли в полученном растворе.
5. К 15 % раствору KOH массой 300 г добавили 7,5 % раствор этого же вещества массой 200 г. Какова массовая доля KOH в полученном растворе?
6. Смешали 400 г 30 % раствора с 500 г 25 % раствора той же соли. Сколько граммов раствора и какой концентрации получится?
7. Смешали 150 г 30 % раствора и 200 г 25 % раствора одного и того же вещества. Сколько граммов раствора и какой концентрации получится?
8. Определите процентную концентрацию KCl в растворе, полученном при смешивании 150 г 20 % раствора и 250 г 40 % раствора KCl.
9. К 120 г 20 % раствора  $K_2SO_4$  добавили 100 г воды. Определите процентную концентрацию  $K_2SO_4$  в полученном растворе.
10. Смешали 150 г 30 % и 700 г 35 % сахара. Сколько граммов раствора и какой концентрации получится?
11. К 500 г 10 % раствора щелочи добавили 200 г её 2 % раствора. Определите массовую долю щелочи в полученном растворе.
12. Смешали 200 г 40 % раствора и 500 г 30 % раствора одного и того же вещества. Сколько граммов раствора и какой концентрации получится?
13. Определите процентную концентрацию соли в растворе, полученном при смешивании 300 г 15 % раствора и 500 г 20 % раствора соли.
14. Смешали 100 г 70 % раствора и 600 г 60 % раствора сахара. Какой массы и концентрации получится раствор?
15. Определите процентную концентрацию соли в растворе, полученном при смешивании 300 г 5 % раствора и 400 г 40 % раствора соли.



16. После частичного упаривания 12 % раствора щелочи массой 160 г получили раствор, масса которого уменьшилась на 40 г. Вычислить процентную концентрацию щелочи в полученном растворе.

17. После частичного упаривания 12 % раствора  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  массой 450 г получили раствор, масса которого уменьшилась на 150 г. Вычислите массовую долю соли в полученном растворе.

18. Из 400 г 50 %-ого раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$  выпариванием удалили 100 г воды. Чему равна массовая доля  $\text{H}_2\text{SO}_4$  в оставшемся растворе?

19. Из 100 г 45 %-ого раствора сахара выпариванием удалили 20 г воды. Чему равна массовая доля сахара в оставшемся растворе?

20. Выпаривание 200 г 15 % раствора соли привело к уменьшению его массы на 60 г. Чему равна процентная концентрация соли в полученном растворе?

21. Из 160 г 20 % раствора соли при охлаждении выделилось 20 г вещества. Чему равна массовая доля соли в образовавшемся растворе?

22. Из 300 г 15 % раствора соли при охлаждении выделились кристаллы массой 35 г. Чему равна процентная концентрация соли в образовавшемся растворе?

23. Охлаждение 60 г 40 % раствора сахара привело к кристаллизации 12 г сахара. Как изменилась процентная концентрация сахара в растворе?

24. Охлаждение 1 кг 70 % раствора сахара привело к кристаллизации 300 г сахара. Чему равна процентная концентрация сахара в полученном растворе?

### Молярная и нормальная концентрация

25. 400 мл 0,1 Н раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$  выпарили до 250 мл. Определите нормальную и молярную концентрацию образовавшегося раствора.

26. 200 мл 2 Н раствора  $\text{CuSO}_4$  упарили до 120 мл. Вычислите нормальную и молярную концентрацию образовавшегося раствора.

27. 200 мл 1,5 Н раствора  $\text{H}_3\text{PO}_4$  выпарили до 120 мл. Вычислите нормальную и молярную концентрацию образовавшегося раствора.

28. 180 мл 0,1 Н раствора  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  выпарили до 100 мл. Вычислите нормальную и молярную концентрацию образовавшегося раствора.

29. 300 мл 0,05 Н раствора  $\text{K}_2\text{SO}_4$  выпарили до 100 мл. Вычислите нормальную и молярную концентрацию образовавшегося раствора.

30. Смешали 100 мл 2 Н раствора и 400 мл 0,15 Н раствора одного и того же вещества. Вычислите нормальную концентрацию полученного раствора.

31. Смешали 400 мл 1,2 Н раствора и 600 мл 1,8 Н раствора  $\text{NaOH}$ . Какова нормальная концентрация полученного раствора?

32. Смешали 50 мл 3 Н раствора с 500 мл 0,1 Н раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Определите нормальную и молярную концентрацию полученного раствора.



33. Смешали 100 мл 2,5 Н раствора с 400 мл 0,2 Н раствора  $\text{CuSO}_4$ . Определите нормальную и молярную концентрацию полученного раствора.
34. Смешали 50 мл 0,1 Н и 100 мл 0,4 Н раствора  $\text{Ca(OH)}_2$ . Определите нормальную и молярную концентрацию полученного раствора.
35. Смешали 120 мл 0,05 Н и 100 мл 0,1 Н раствора  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ . Определите нормальную и молярную концентрацию полученного раствора.

### Закон эквивалентов

36. Для нейтрализации 42 мл  $\text{H}_2\text{SO}_4$  потребовалось 14 мл 0,3 Н раствора щелочи. Определите нормальную и молярную концентрацию раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .
37. Для нейтрализации 20 мл 0,1 Н раствора кислоты потребовалось 8 мл раствора  $\text{NaOH}$ . Сколько граммов  $\text{NaOH}$  содержат 2 л данного раствора?
38. 200 мл раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$  нейтрализуют 250 мл 1 Н раствора щелочи. Выразите концентрацию серной кислоты в г/л.
39. На нейтрализацию 200 мл раствора  $\text{Ca(OH)}_2$  израсходовано 300 мл 0,3 Н раствора кислоты. Определите нормальную и молярную концентрацию раствора  $\text{Ca(OH)}_2$ .
40. 200 мл раствора  $\text{H}_3\text{PO}_4$  нейтрализуют 100 мл 0,15 Н раствора щелочи. Выразите концентрацию кислоты в г/л раствора.
41. Для нейтрализации 42 мл  $\text{H}_3\text{PO}_4$  потребовалось добавить 14 мл 0,3 Н раствора щелочи. Определите нормальную и молярную концентрацию раствора  $\text{H}_3\text{PO}_4$ .
42. Какой объем 6 М раствора  $\text{HCl}$  нужно взять для приготовления 25 мл 2,5 М раствора  $\text{HCl}$ ?
43. Сколько мл 0,1 Н раствора  $\text{H}_3\text{PO}_4$  можно приготовить из 80 мл 0,75 Н раствора  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ?
44. Какой концентрации получится раствор щелочи, если 25 мл 2 Н раствора  $\text{NaOH}$  разбавить до 90 мл?
45. Какой концентрации получится раствор соли, если 30 мл 3 Н раствора  $\text{KCl}$  разбавить до 75 мл?

### Высший уровень

#### Примеры решения задач Процентная концентрация

1. К 15 %-ому раствору  $\text{KOH}$  массой 450 г добавили воду до образования 10 %-го раствора. Сколько граммов воды добавили?



Дано:

$$\begin{aligned}\omega_1 &= 15 \% \\ m_{1\text{р-ра}} &= 450 \text{ г} \\ \omega_2 &= 10 \%\end{aligned}$$

---

$$\Delta m_{\text{H}_2\text{O}} - ?$$

Решение:

а) Найдем массу КОН в первоначальном растворе

$$m_{1\text{в-ва}} = \frac{\omega_1 \cdot m_{1\text{р-ра}}}{100} = \frac{15 \cdot 450}{100} = 67,5 \text{ г}$$

б) Найдем массу образовавшегося раствора, учитывая, что весь КОН в новом растворе или  $m_{1\text{в-ва}} = m_{2\text{в-ва}}$ , тогда

$$m_{2\text{р-ра}} = \frac{m_{1\text{в-ва}} \cdot 100}{\omega_2} = \frac{67,5 \cdot 100}{10} = 675 \text{ г}$$

в) Найдем массу добавленной воды

$$\Delta m_{\text{H}_2\text{O}} = m_{2\text{р-ра}} - m_{1\text{р-ра}} = 675 - 450 = 225 \text{ г}$$

Ответ: 225 г.

2. Смешали 150 г 10 % раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и 300 г 40 % раствора  $\text{HNO}_3$ . Определите процентную концентрацию серной и азотной кислот в смеси.

Дано:

$$\begin{aligned}m_{1\text{р-ра}} &= 150 \text{ г} \\ \omega_1 &= 10 \% \\ m_{2\text{р-ра}} &= 300 \text{ г} \\ \omega_2 &= 40 \%\end{aligned}$$

---

$$\omega'_1 - ? \quad \omega'_2 - ?$$

Решение:

а) Найдем массу  $\text{H}_2\text{SO}_4$  в растворе

$$m_{1\text{в-ва}} = \frac{\omega_1 \cdot m_{1\text{р-ра}}}{100} = \frac{10 \cdot 150}{100} = 15 \text{ г}$$

б) Найдем массу  $\text{HNO}_3$  в растворе

$$m_{2\text{в-ва}} = \frac{\omega_2 \cdot m_{2\text{р-ра}}}{100} = \frac{40 \cdot 300}{100} = 120 \text{ г}$$

в) Найдем массу образовавшегося раствора

$$m_{\text{р-ра}} = m_{1\text{р-ра}} + m_{2\text{р-ра}} = 150 + 30 = 450 \text{ г}$$

г) Найдем процентную концентрацию  $\text{H}_2\text{SO}_4$  в образовавшемся растворе

$$\omega'_1 = \frac{m_{1\text{в-ва}} \cdot 100 \%}{m'_{\text{р-ра}}} = \frac{15 \cdot 100}{450} = 3,3 \%$$

д) Найдем процентную концентрацию  $\text{HNO}_3$  в образовавшемся растворе



$$\omega'_2 = \frac{m_{2\text{в-ва}} \cdot 100 \%}{m'_{\text{р-ра}}} = \frac{120 \cdot 100}{450} = 26,7 \%$$

Ответ: 3,3 %; 26,7 %.

3. Сколько граммов 8 % раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$  можно приготовить из 50 % её раствора массой 600 г?

Дано:

$$\omega_1 = 50 \%$$
$$m_{\text{р-ра}} = 600 \text{ г}$$
$$\omega_2 = 8 \%$$

---

$$m_{2\text{р-ра}} - ?$$

Решение:

а) Найдем массу вещества  $\text{H}_2\text{SO}_4$  в растворе

$$m_{1\text{в-ва}} = \frac{\omega_1 \cdot m_{\text{р-ра}}}{100} = \frac{50 \cdot 600}{100} = 300 \text{ г}$$

б) Найдем массу 8 %-го раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , исходя из того, что масса  $\text{H}_2\text{SO}_4$  не изменилась или  $m_{1\text{в-ва}} = m_{2\text{в-ва}}$ , тогда

$$m_{2\text{р-ра}} = \frac{m_{1\text{в-ва}} \cdot 100}{\omega_2} = \frac{300 \cdot 100}{8} = 3750 \text{ г}$$

Ответ: 3750 г.

4. Сколько граммов  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  потребуется для приготовления 5 л 8 % раствора с плотностью 1,075 г/мл?

Дано:

$$V = 5 \text{ л}$$
$$\omega = 8 \%$$
$$\rho = 1,075 \text{ г/мл}$$

---

$$m_{\text{в-ва}} - ?$$

Решение:

а) Найдем массу 5 л раствора

$$m_{\text{р-ра}} = V \cdot \rho = 5000 \cdot 1,075 = 5375 \text{ г}$$

б) Найдем массу  $\text{Na}_2\text{SO}_3$

$$m_{\text{в-ва}} = \frac{\omega \cdot m_{\text{р-ра}}}{100} = \frac{8 \cdot 5375}{100} = 430 \text{ г}$$

Ответ: 430 г

### Молярная и нормальная концентрация

5. Смешали 200 мл 0,1 Н раствора  $\text{HCl}$  и 100 мл 0,4 Н раствора  $\text{HNO}_3$ . Определите нормальную концентрацию каждой кислоты в новом растворе.



Дано:

$$V_1 = 200 \text{ мл}$$

$$N_1 = 0,1 \text{ Н}$$

$$V_2 = 100 \text{ мл}$$

$$N_2 = 0,4 \text{ Н}$$

---

$$N'_1 - ?$$

$$N'_2 - ?$$

Решение:

а) Найдем число г-экв HCl в растворе

$$n_1 = \frac{V_1 \cdot N_1}{1000} = \frac{200 \cdot 0,1}{1000} = 0,02 \text{ г-экв}$$

б) Найдем число г-экв HNO<sub>3</sub> в растворе

$$n_2 = \frac{V_2 \cdot N_2}{1000} = \frac{100 \cdot 0,4}{1000} = 0,04 \text{ г-экв}$$

в) Найдем объем образовавшегося раствора

$$V' = V_1 + V_2 = 200 + 100 = 300 \text{ мл}$$

г) Найдем нормальную концентрацию HCl в растворе

$$N'_1 = \frac{n_1 \cdot 1000}{V_1} = \frac{0,02 \cdot 1000}{300} = 0,066 \frac{\text{г-экв}}{\text{л}}$$

д) Найдем нормальную концентрацию HNO<sub>3</sub> в растворе

$$N'_2 = \frac{n_2 \cdot 1000}{V_2} = \frac{0,04 \cdot 1000}{300} = 0,13 \frac{\text{г-экв}}{\text{л}}$$

Ответ: 0,066 Н; 0,13 Н.

6. Определите молярную концентрацию раствора, полученного при растворении Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> массой 42,6 г в воде массой 300 г, если плотность полученного раствора равна 1,12 г/мл.

Дано:

$$m_V = 42,6 \text{ г}$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = 300 \text{ г}$$

$$\rho = 1,12 \text{ г/мл}$$

---

$$v - ?$$

Решение:

а) Найдем массу раствора

$$m_{\text{р-ра}} = m_v + m_{\text{H}_2\text{O}} = 42,6 + 300 = 342,6 \text{ г}$$

б) Найдем объем раствора

$$V = \frac{m_{\text{р-ра}}}{\rho} = \frac{342,6}{1,12} = 305,9 \text{ мл}$$

в) Найдем массу вещества, содержащуюся в 1 л раствора

305,9 мл р-ра — 42,6 г вещества



1000 мл —  $m$

$$m = \frac{1000 \cdot 42,6}{305,9} = 139,26 \text{ г}$$

г) Найдем молярную концентрацию  $\text{Na}_2\text{SO}_4$

$$\nu = \frac{m}{M} = \frac{139,26}{142} = 0,98 \text{ моль/л}$$

$$M_{\text{Na}_2\text{SO}_4} = 2 \cdot 23 + 32 + 4 \cdot 16 = 142 \text{ г/моль}$$

*Ответ:* 0,98 М

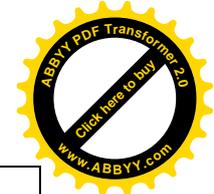
7. 500 мл 0,1 Н раствора  $\text{HCl}$  упарили до 400 мл. Определите нормальную концентрацию и рН образовавшегося раствора.

<p><i>Дано:</i>  <math>V_1 = 500 \text{ мл}</math>  <math>N_1 = 0,1 \text{ Н}</math>  <math>V_2 = 400 \text{ мл}</math></p>	<p><i>Решение:</i>            а) Найдем нормальную концентрацию образовавшегося раствора</p> $N_2 = \frac{V_1 \cdot N_1}{V_2} = \frac{500 \cdot 0,1}{400} = 0,125 \text{ Н}$ <p>б) Найдем рН образовавшегося раствора  <math>[\text{H}^+] = 0,125 \text{ г-экв/л} = 0,125 \text{ моль/л}</math>  <math>\text{pH} = -\lg[\text{H}^+] = -\lg 0,125 = 0,9</math>  <i>Ответ:</i> 0,125 Н; 0,9</p>
<p><math>N_2 - ?</math> рН — ?</p>	

### Закон эквивалентов

8. На нейтрализацию 50 мл раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$  израсходовано 25 мл 0,5 Н раствора щелочи. Чему равна нормальная и молярная концентрация кислоты?

<p><i>Дано:</i>  <math>V_1 = 50 \text{ мл}</math>  <math>V_2 = 25 \text{ мл}</math>  <math>N_2 = 0,5 \text{ Н}</math></p>	<p><i>Решение:</i>            а) Найдем нормальную концентрацию кислоты</p> $N_1 = \frac{V_2 \cdot N_2}{V_1} = \frac{25 \cdot 0,5}{50} = 0,25 \text{ Н}$ <p>б) Найдем молярную концентрацию кислоты</p> $\nu = \frac{N}{2} = \frac{0,25}{2} = 0,125 \text{ моль/л}$
<p><math>N_1 - ?</math> <math>\nu_1 - ?</math></p>	



Ответ: 0,25 Н; 0,125 М

### Задачи для самостоятельного решения Процентная концентрация

1. К 15 % раствору щелочи массой 600 г добавили воду до образования 5 % раствора. Сколько граммов воды добавили?
2. К 10 % раствору  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  массой 400 г добавили воду массой 100 г. Вычислите массовую долю  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  в образовавшемся растворе.
3. Сколько граммов воды необходимо добавить к 30 % раствору  $\text{NaOH}$  массой 400 г, чтобы приготовить 20 % раствор?
4. Сколько граммов воды необходимо добавить к 20 % раствору  $\text{FeSO}_4$  массой 300 г, чтобы получить 16 % раствор?
5. Смешали 50 г 50 % раствора  $\text{HCl}$  и 350 г 10 % раствора  $\text{KCl}$ . Вычислите процентную концентрацию кислоты и соли в смеси.
6. Смешали 800 г 30 % раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$  с 200 г 20 % раствора  $\text{HNO}_3$ . Определите процентную концентрацию каждой кислоты в смеси.
7. Сколько граммов воды необходимо добавить к 30 % раствору  $\text{KOH}$  массой 500 г, чтобы приготовить 20 % раствор?
8. Сколько граммов воды необходимо добавить к 12 % раствору  $\text{HNO}_3$  массой 250 г, чтобы приготовить 8 % раствор?
9. Сколько 4 % раствора  $\text{HNO}_3$  можно приготовить из 15 % её раствора массой 400 г?
10. Сколько 2 % раствора  $\text{CuSO}_4$  можно приготовить из 12 % её раствора массой 60 г?
11. Смешали 10 мл 10 % раствора  $\text{HNO}_3$  ( $\rho = 1,056$  г/мл) и 100 мл 30 % раствора  $\text{HNO}_3$  ( $\rho = 1,184$  г/мл). Вычислите процентную концентрацию полученного раствора.
12. К 400 мл 15 % раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ( $\rho = 1,1$  г/мл) добавили 60 г воды. Определите массовую долю  $\text{H}_2\text{SO}_4$  в полученном растворе.

### Молярная и нормальная концентрация

13. К 400 мл 0,4 Н раствора  $\text{NaOH}$  прибавили 200 мл 0,1 Н раствора  $\text{KOH}$ . Определите нормальную концентрацию каждой щелочи в смеси.
14. Смешали 60 мл 0,6 Н раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и 70 мл 0,3 Н раствора  $\text{HNO}_3$ . Определите молярную концентрацию каждой кислоты в смеси.
15. Смешали 130 мл 0,2 М раствора  $\text{HCl}$  и 70 мл 0,4 М раствора  $\text{HNO}_3$ . Определите молярную концентрацию каждой кислоты в смеси.
16. К 250 мл 0,1 Н раствора  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  добавили 150 мл 0,1 Н раствора  $\text{KOH}$ . Чему равна нормальная концентрация каждой щелочи в смеси?



17. Смешали 300 мл 0,2 Н раствора  $\text{HNO}_3$  и 60 мл 2,5 Н раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Определите нормальную концентрацию каждой кислоты в смеси.
18. Определите молярную концентрацию раствора с массовой долей гидроксида натрия 0,2 (20 %), плотность которого равна 1,22 г/мл.
19. Чему равна молярная концентрация  $\text{NaNO}_3$  в растворе с массовой долей 40 %, плотность которого равна 1,32 г/мл?
20. Определите процентную концентрацию  $\text{KCl}$  в растворе 1,4М  $\text{CaCl}_2$ , плотность которого равна 1,12 г/мл.
21. Какой объем раствора с процентной концентрацией  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  15 % ( $\rho = 1,16$  г/мл) надо взять для приготовления раствора 0,45 М  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  объемом 120 мл?
22. Определите объем 3 М раствора  $\text{KCl}$ , который потребуется для приготовления раствора объемом 200 мл с массовой долей  $\text{KCl}$  8 % и плотностью 1,05 г/мл.
23. К воде массой 200 г прилили раствор 2 М  $\text{KCl}$  объемом 40 мл и плотностью 1,09 г/мл. Определите молярную и процентную концентрацию  $\text{KCl}$  в полученном растворе, если его плотность равна 1,015 г/мл.
24. Определите молярную и нормальную концентрацию раствора  $\text{H}_3\text{PO}_4$  с процентной концентрацией 55,85 % и плотностью 1,385 г/мл.
25. Найти молярность 36,2 %-ного раствора  $\text{HCl}$ , плотность которого 1,18 г/мл.
26. 600 мл 0,2 Н раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$  выпарили до 350 мл. Определите нормальную, молярную концентрацию и рН образовавшегося раствора.
27. 60 мл 0,25 Н раствора  $\text{NaOH}$  выпарили до 40 мл. Определите нормальную концентрацию и рН полученного раствора.
28. После упаривания 600 мл 0,4 Н раствора  $\text{Ca(OH)}_2$  его объем уменьшился на 220 мл. Определите нормальную, молярную концентрацию и рН образовавшегося раствора.
29. На нейтрализацию 31 мл 0,16 Н раствора щелочи требуется 217 мл раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Чему равны нормальность и молярность раствора кислоты?
30. Какой объем 0,3 Н раствора кислоты требуется для нейтрализации раствора, содержащего 0,32 г  $\text{NaOH}$  в 40 мл?
31. На нейтрализацию 1 л раствора, содержащего 1,4 г  $\text{KOH}$ , требуется 50 мл раствора кислоты. Вычислите нормальную концентрацию раствора кислоты.
32. Сколько граммов  $\text{HNO}_3$  содержалось в 1 л раствора, если на его нейтрализацию потребовалось 35 мл 0,8 Н раствора  $\text{NaOH}$ ?



**Творческий уровень**  
**Задачи для самостоятельного решения**  
**Процентная концентрация**

1. Какой объем раствора HCl с концентрацией 20 % ( $\rho = 1,1 \text{ г/см}^3$ ) требуется для приготовления 1л раствора с процентной концентрацией 10,17 % ( $\rho = 1,05 \text{ г/см}^3$ )?
2. Какой объем раствора KOH с массовой долей 50 % ( $\rho = 1,515 \text{ г/см}^3$ ) требуется для приготовления 3л раствора с массовой долей 5 % ( $\rho = 1,048 \text{ г/см}^3$ )?
3. Сколько воды следует прибавить к 100 мл HCl с массовой долей 40 % ( $\rho = 1,198 \text{ г/см}^3$ ), чтобы получить раствор с массовой долей 15 %?
4. При упаривании раствора  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  соль выделяется в виде кристаллогидрата  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ . Какую массу кристаллогидрата можно получить из раствора объемом 200 мл с процентной концентрацией 15 %, плотность которого равна 1,14 г/мл?
5. Какую массу медного купороса  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  и воды надо взять для приготовления раствора сульфата меди (II) массой 40 кг с концентрацией  $\text{CuSO}_4$  2 %?
6. В воде массой 40 г растворили железный купорос  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  массой 3,5 г. Определите процентную концентрацию  $\text{FeSO}_4$  в полученном растворе.
7. В лаборатории имеются растворы с процентной концентрацией NaCl 10 % и 20 %. Какую массу каждого раствора надо взять для получения раствора с концентрацией 12 % и массой 300 г?
8. Определите массу раствора  $\text{CuSO}_4$  с концентрацией 10 % и массу воды, которые потребуются для приготовления раствора массой 500 г с массовой долей  $\text{CuSO}_4$  2 %.
9. Какой объем раствора с концентрацией  $\text{H}_2\text{SO}_4$  60 % ( $\rho = 1,5 \text{ г/мл}$ ) и раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$  с концентрацией 30 % ( $\rho = 1,2 \text{ г/мл}$ ) надо взять для приготовления раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$  массой 240 г с концентрацией кислоты 50 %?
10. Какой объем раствора плотностью 1,33 г/мл с массовой долей NaOH 30 % надо прилить к воде объемом 200 мл для получения раствора с концентрацией NaOH 8 %?

**Молярная и нормальная концентрация**

11. Чему равна нормальная концентрация 30 % раствора NaOH, плотность которого  $1,328 \text{ г/см}^3$ ? К 1 л этого раствора прибавили 5 л воды. Вычислите процентную концентрацию полученного раствора.
12. Какой объем 96 % кислоты  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , плотность которой  $1,84 \text{ г/см}^3$ , потребуется для приготовления 3 л 0,4 Н раствора?



13. К 100 мл раствора  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  с концентрацией 13,5 % ( $\rho = 1,14 \text{ г/см}^3$ ) прилили 200 мл воды, получился раствор с плотностью  $1,09 \text{ г/см}^3$ . Вычислите массовую долю и молярную концентрацию полученного раствора.

14. Сколько миллилитров 96 % раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ( $\rho = 1,84 \text{ г/мл}$ ) нужно взять для приготовления 1 л 0,25 Н раствора?

15. К 3 л раствора  $\text{HNO}_3$  плотностью  $1,054 \text{ г/см}^3$  и массовой долей 10 % прибавили 5 л раствора той же кислоты с массовой долей 2 % плотностью  $1,009 \text{ г/см}^3$ . Вычислите молярную концентрацию полученного раствора.

16. Смешали 100 мл раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$  с массовой долей 93,6 % ( $\rho = 1,83 \text{ г/см}^3$ ) и 400 мл воды. Вычислите молярную и нормальную концентрацию полученного раствора.

### Закон эквивалентов

17. Какой объем 10 %-ой серной кислоты ( $\rho = 1,07 \text{ г/мл}$ ) потребуется для нейтрализации раствора, содержащего 16 г  $\text{NaOH}$ ?

18. На нейтрализацию 20 мл раствора, содержащего в 1 л 12 г щелочи, израсходовано 24 мл 0,25 Н раствора кислоты. Рассчитайте эквивалентную массу щелочи.

19. Для нейтрализации раствора, содержащего в 1 л 2,25 г кислоты, потребовалось 25 мл 2 Н раствора щелочи. Определите эквивалентную массу кислоты.



## ТЕМА 3 „ДИССОЦИАЦИЯ ЭЛЕКТРОЛИТОВ. МОЛЕКУЛЯРНО-ИОННЫЕ РЕАКЦИИ”

### Теоретическая часть

**Электролиты** – это жидкие или твердые вещества, в которых присутствуют ионы, способные перемещаться и проводить электрический ток.

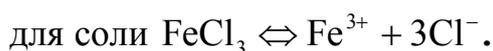
Согласно теории электролитической диссоциации электролиты в воде распадаются (диссоциируют) на ионы. Обратный процесс называется ассоциация. Положительно заряженные ионы называются катионами ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{H}^+$ ), отрицательные ионы – анионами ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{OH}^-$ ).

**Степень диссоциации ( $\alpha$ )**– это отношение числа продиссоциировавших молекул к общему числу молекул в растворе. По величине  $\alpha$  судят о силе электролита.

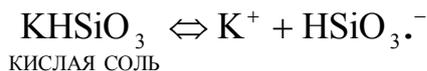
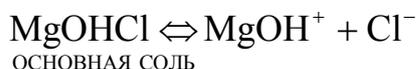
Если  $\alpha < 3\%$  – слабый электролит;  
 $3\% < \alpha < 30\%$  – электролит средней силы;  
 $\alpha > 30\%$  – сильный электролит.

$\alpha$  возрастает с разбавлением раствора.

К сильным электролитам относятся почти все соли, кислоты:  $\text{HCl}$ ,  $\text{HBr}$ ,  $\text{HI}$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ; основания (щелочи):  $\text{LiOH}$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{KOH}$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Ba}(\text{OH})_2$ . Сильные электролиты диссоциируют в растворе полностью. То есть существуют, главным образом, в виде ионов. Процессы полной электролитической диссоциации записываются:

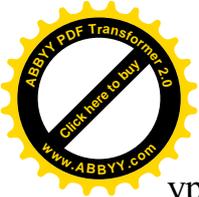


Кислые и основные соли, являясь сильными электролитами, диссоциируют следующим образом:

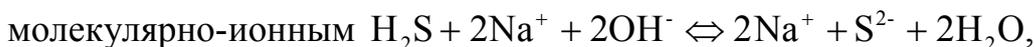
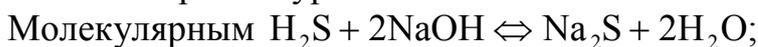


Степень диссоциации солей тем больше, чем меньше заряды ионов. Например, в ряду солей натрия:  $\text{NaCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Na}_3\text{PO}_4$   $\alpha$  уменьшается.

К слабым электролитам относятся кислоты  $\text{HF}$ ,  $\text{HCN}$ ,  $\text{HCNS}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{H}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SiO}_3$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , органические кислоты основания:  $\text{NH}_4\text{OH}$  и другие. В



уравнениях они пишутся в виде молекул. Например, взаимодействие  $\text{H}_2\text{S}$  и  $\text{NaOH}$  можно выразить уравнениями:

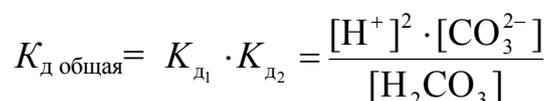
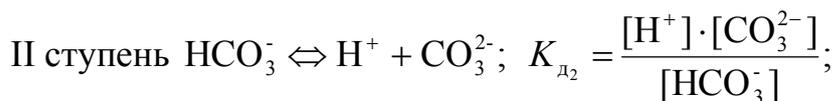


в котором слабые электролиты записаны в виде молекул, а сильные в виде ионов;



Электролиты средней силы диссоциируют ступенчато. Процесс диссоциации количественно описывается константой диссоциации.

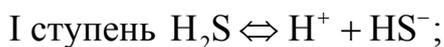
*Константа диссоциации ( $K_{\text{д}}$ )* – это константа равновесия, отвечающая диссоциации слабого электролита. Например, ступенчатая диссоциация двухосновной кислоты  $\text{H}_2\text{CO}_3$  выражается уравнениями:



### Начальный уровень Примеры решения задач

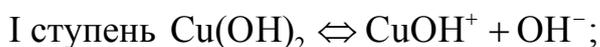
1. Запишите процесс ступенчатой диссоциации слабой кислоты  $\text{H}_2\text{S}$ .

*Решение:* Кислоты диссоциируют с отщеплением ионов водорода:



2. Запишите процесс ступенчатой диссоциации основания  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ .

*Решение:* Основания (гидроксиды) диссоциируют с отщеплением ионов гидроксида:

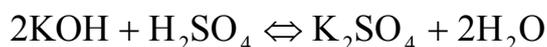




II ступень  $\text{CuOH}^+ \rightleftharpoons \text{Cu}^{2+} + \text{OH}^-$ .

3. Запишите в молекулярном и ионном виде реакцию взаимодействия между  $\text{KOH}$  и  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

*Решение:* Реакция между основанием и кислотой (реакция нейтрализации) приводит к образованию соли и воды (слабого электролита). В молекулярном виде:



В молекулярно-ионном виде:



В сокращенном ионном виде:



### Задачи для самостоятельного решения

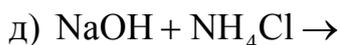
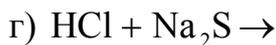
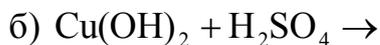
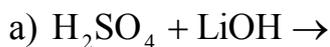
1. Запишите уравнение полной диссоциации сильных электролитов:  $\text{NaOH}$ ,  $\text{Ba}(\text{OH})_2$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

2. Запишите процессы ступенчатой диссоциации электролитов  $\text{H}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SiO}_3$ ,  $\text{Cd}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_3$ .

3. Из предложенного ряда электролитов выберите электролит, который диссоциирует ступенчато:  $\text{HCl}$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$  и запишите процесс его ступенчатой диссоциации.

4. Из предложенного ряда электролитов выберите слабый электролит и запишите процесс его ступенчатой диссоциации:  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{Ni}(\text{OH})_2$ ,  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{NaOH}$ .

5. Составьте уравнения реакций, протекающих в водных растворах электролитов в молекулярной, ионной и сокращенной ионной формах:

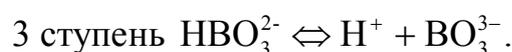
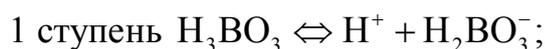




### Средний уровень Примеры решения задач

1. Запишите процесс ступенчатой диссоциации слабой кислоты  $\text{H}_3\text{BO}_3$  и выразите ступенчатые константы диссоциации.

*Решение:* Трёхосновная кислота имеет три ступени диссоциации:



Ступеням диссоциации соответствуют константы диссоциации:

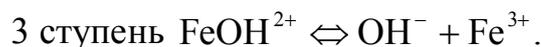
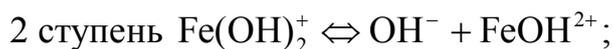
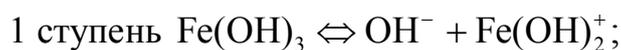
$$K_{\text{л}_1} = \frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{H}_2\text{BO}_3^-]}{[\text{H}_3\text{BO}_3]};$$

$$K_{\text{л}_2} = \frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{HBO}_3^{2-}]}{[\text{H}_2\text{BO}_3^-]};$$

$$K_{\text{л}_3} = \frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{BO}_3^{3-}]}{[\text{HBO}_3^{2-}]}.$$

2. Запишите процесс ступенчатой диссоциации слабого основания  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  и выразите ступенчатые константы диссоциации.

*Решение:* Трёхкислотное основание имеет три ступени диссоциации:



Ступеням диссоциации соответствуют константы диссоциации:



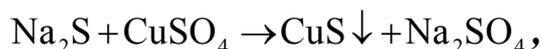
$$K_{д1} = \frac{[\text{OH}^-] \cdot [\text{Fe}(\text{OH})_2^+]}{[\text{Fe}(\text{OH})_3]}$$

$$K_{д2} = \frac{[\text{OH}^-] \cdot [\text{FeOH}^{2+}]}{[\text{Fe}(\text{OH})_2^+]}$$

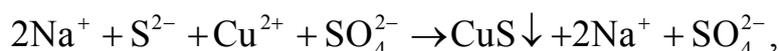
$$K_{д3} = \frac{[\text{OH}^-] \cdot [\text{Fe}^{3+}]}{[\text{FeOH}^{2+}]}$$

3. Запишите в молекулярном и ионном виде реакцию взаимодействия между: а) сульфатом натрия и сульфатом меди (II); б) сульфатом железа (III) и гидроксидом натрия.

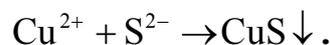
*Решение:* а) В молекулярном виде уравнение реакции записывается как



в ионном виде

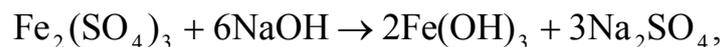


в сокращенном ионном виде

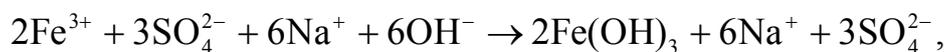


Малорастворимая соль CuS записывается в виде молекулы.

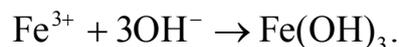
б) Молекулярное уравнение



в ионном виде



в сокращенном ионном виде



Малорастворимый слабый гидроксид Fe(OH)<sub>3</sub> записывается в виде молекулы.

### Задачи для самостоятельного решения

1. Запишите процесс диссоциации электролитов Na<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> и H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>. В чем заключается их принципиальное отличие?



2. Запишите процесс диссоциации электролитов  $\text{FeSO}_4$  и  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ . В чем заключается их принципиальное отличие?

3. Из предложенных рядов выберите электролиты, которые диссоциируют ступенчато. Запишите процесс их ступенчатой диссоциации и выразите константу диссоциации по ступеням:

- а)  $\text{Na}_2\text{S}$ ,  $\text{NaHS}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ;
- б)  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ,  $\text{CH}_3\text{COONa}$ ;
- в)  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Ba}(\text{OH})_2$ ,  $\text{FeSO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ;
- г)  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HI}$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{Ba}(\text{OH})_2$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{NaNO}_3$ ;
- д)  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ;
- е)  $\text{Ba}(\text{OH})_2$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ ,  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ;
- ж)  $\text{Na}_2\text{S}$ ,  $\text{NaHS}$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{CaOHCl}$ ,  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_3\text{BO}_3$ ;
- з)  $\text{Na}_3\text{BO}_3$ ,  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{HNO}_3$ ;
- и)  $\text{NaCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{CH}_3\text{COONa}$ ,  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ;
- к)  $\text{HBr}$ ,  $\text{HI}$ ,  $\text{H}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{NaBr}$ ;
- л)  $\text{NaCl}$ ,  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{NH}_4\text{OH}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

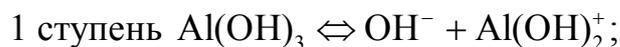
4. Составьте уравнения реакций, протекающих в водных растворах между электролитами в молекулярной, ионной и сокращенной ионной формах:

- а)  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2 + \text{Na}_2\text{S} \rightarrow$
- б)  $\text{K}_2\text{S} + \text{HCl} \rightarrow$
- в)  $\text{CdS} + \text{HCl} \rightarrow$
- г)  $\text{Ba}(\text{OH})_2 + \text{CoCl}_2 \rightarrow$
- д)  $\text{FeCl}_3 + \text{NH}_4\text{OH} \rightarrow$
- е)  $\text{FeCl}_3 + \text{KOH} \rightarrow$
- ж)  $\text{NiSO}_4 + (\text{NH}_4)_2\text{S} \rightarrow$
- з)  $\text{MgCO}_3 + \text{HNO}_3 \rightarrow$
- и)  $\text{AlCl}_3 + \text{AgNO}_3 \rightarrow$
- к)  $\text{CaCl}_2 + \text{AgNO}_3 \rightarrow$
- л)  $\text{Ba}(\text{OH})_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4 \rightarrow$

### Высший уровень Примеры решения задач

1. Напишите уравнения ступенчатой диссоциации амфотерного гидроксида  $\text{Al}(\text{OH})_3$  как основания и как кислоты. Выразите ступенчатые константы диссоциации.

*Решение:* Диссоциация  $\text{Al}(\text{OH})_3$  как гидроксида по трём ступеням:





$$K_{д1} = \frac{[\text{OH}^-] \cdot [\text{Al}(\text{OH})_2^+]}{[\text{Al}(\text{OH})_3]}$$

2 ступень  $\text{Al}(\text{OH})_2^+ \Leftrightarrow \text{OH}^- + \text{AlOH}^{2+}$ ;

$$K_{д1} = \frac{[\text{OH}^-] \cdot [\text{AlOH}^{2+}]}{[\text{Al}(\text{OH})_2^+]}$$

3 ступень  $\text{AlOH}^{2+} \Leftrightarrow \text{OH}^- + \text{Al}^{3+}$ ;

$$K_{д1} = \frac{[\text{OH}^-] \cdot [\text{Al}^{3+}]}{[\text{AlOH}^{2+}]}$$

Диссоциация  $\text{Al}(\text{OH})_3$  как кислоты по трем ступеням:

1 ступень  $\text{H}_3\text{AlO}_3 \Leftrightarrow \text{H}^+ + \text{H}_2\text{AlO}_3^-$ ;

$$K_{д1} = \frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{H}_2\text{AlO}_3^-]}{[\text{H}_3\text{AlO}_3]}$$

2 ступень  $\text{H}_2\text{AlO}_3^- \Leftrightarrow \text{H}^+ + \text{HAIO}_3^{2-}$ ;

$$K_{д1} = \frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{HAIO}_3^{2-}]}{[\text{H}_2\text{AlO}_3^-]}$$

3 ступень  $\text{HAIO}_3^{2-} \Leftrightarrow \text{H}^+ + \text{AlO}_3^{3-}$ ;

$$K_{д1} = \frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{AlO}_3^{3-}]}{[\text{HAIO}_3^{2-}]}$$

2. Соли натрия  $\text{NaCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{S}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{Na}_3\text{BO}_3$  расположите в ряд по увеличению их степени диссоциации.



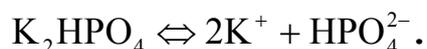
*Решение:* Практически все соли относятся к сильным электролитам ( $\alpha > 30\%$ ), но значение  $\alpha$  может варьировать в зависимости от величин зарядов ионов, составляющих соль. Отсюда ряд по увеличению  $\alpha$  будет следующий:



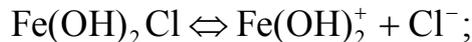
3. Из представленного ряда выбрать кислые и основные соли и записать реакцию их диссоциации:



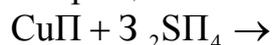
*Решение:* Кислыми солями являются  $\text{NaHCO}_3, \text{KH}_2\text{PO}_4, \text{K}_2\text{HPO}_4$ . Кислые соли диссоциируют с отщеплением катиона металла:



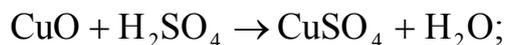
Основными солями являются  $\text{MgOHCl}, \text{Fe}(\text{OH})_2\text{Cl}, \text{FeOHCl}_2$ . Основные соли диссоциируют с отщеплением аниона - кислотного остатка.



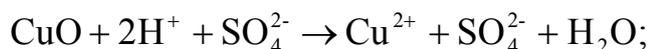
4. Составьте уравнения реакций, протекающих в водных растворах, в молекулярной, ионной и сокращенной ионной формах:



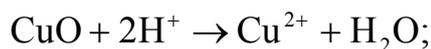
*Решение:* Соединения  $\text{CuO}, \text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  записываются в молекулярной форме так же, как и продукт реакции. Отсюда, молекулярная форма уравнений:



ионная форма



сокращенная ионная форма



### Задачи для самостоятельного решения

1. Напишите уравнения ступенчатой диссоциации гидроксидов: а)  $\text{Be}(\text{OH})_2$ ; б)  $\text{Zn}(\text{OH})_2$ ; в)  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  как основания и как кислоты и выразите ступенчатые константы диссоциации.

2. Хлориды металлов расположите в ряд по увеличению их степени диссоциации:  $\text{NaCl}$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{FeCl}_2$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{LiCl}$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{CrCl}_3$ .

3. Сульфаты металлов расположите в ряд по увеличению их степени диссоциации:  $\text{Li}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ .

4. Соли калия расположите в ряд по увеличению их степени диссоциации:  $\text{KBr}$ ,  $\text{KI}$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{SiO}_3$ ,  $\text{K}_3\text{BO}_3$ ,  $\text{K}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{S}$ ,  $\text{KCl}$ .

5. Из представленных рядов выбрать кислые и основные соли и записать реакцию их диссоциации:

а)  $\text{NaCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NaHS}$ ,  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ;

б)  $\text{LiCl}$ ,  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{LiHCO}_3$ ,  $\text{LiH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{CuOHBr}$ ,  $\text{CuBr}_2$ ;

в)  $\text{KI}$ ,  $\text{KH}_2\text{BO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{HBO}_3$ ,  $\text{FeOH}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$ ;

г)  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{MgOHNO}_3$ ,  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{K}_2\text{HBO}_3$ ,  $\text{KHSiO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{SiO}_3$ ;

д)  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{FeOHSO}_4$ ,  $\text{FeOHCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ,  $\text{NaHSO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{S}$

6. Составьте уравнения реакций, протекающих в водных растворах электролитов, в молекулярной, ионной и сокращенной ионной форме:

а)  $\text{K}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$

б)  $\text{ZnOHCl} + \text{HCl} \rightarrow$

в)  $\text{FeSO}_4 + (\text{NH}_4)_2\text{S} \rightarrow$

г)  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{K}_3\text{PO}_4 \rightarrow$

д)  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{KOH} \rightarrow$

е)  $\text{KOH} + \text{CO}_2 \rightarrow$

ж)  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2 + \text{K}_2\text{CrO}_4 \rightarrow$

з)  $\text{BaCO}_3 + \text{HNO}_3 \rightarrow$

и)  $\text{Na}_3\text{PO}_4 + \text{CaCl}_2 \rightarrow$

к)  $\text{BaCl}_2 + \text{K}_2\text{CO}_3 \rightarrow$

### Творческий уровень

#### Задачи для самостоятельного решения

1. Какое из веществ:  $\text{KHCO}_3$ ,  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ,  $\text{NiSO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{S}$  будет взаимодействовать с раствором серной кислоты? Выразите эти реакции молекулярными и ионно-молекулярными уравнениями.



2. Какое из веществ:  $\text{NaCl}$ ,  $\text{NiSO}_4$ ,  $\text{Be}(\text{OH})_2$ ,  $\text{KHCO}_3$  будет взаимодействовать с раствором  $\text{NaOH}$ ? Выразите эти реакции молекулярными и ионно-молекулярными уравнениями.

3. Составьте уравнения тех реакций, которые протекают практически до конца и запишите уравнения в сокращенной ионной форме:

- а)  $\text{CuCl}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$
- б)  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + \text{KOH} \rightarrow$
- в)  $\text{Cu}(\text{OH})_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$
- г)  $\text{CuSO}_4 + \text{H}_2\text{S} \rightarrow$
- д)  $\text{CaCl}_2 + \text{HNO}_3 \rightarrow$
- е)  $\text{CaCl}_2 + \text{AgNO}_3 \rightarrow$
- ж)  $\text{Ba}(\text{OH})_2 + \text{NaCl} \rightarrow$
- з)  $\text{Ba}(\text{OH})_2 + \text{NaCl} \rightarrow$

4. Составьте уравнения реакций, которые выражаются ионно-молекулярными уравнениями:

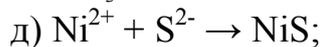
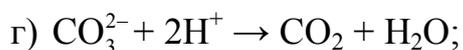
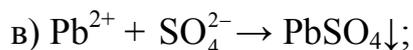
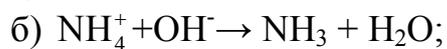
- а)  $\text{Zn}^{2+} + \text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{ZnS} + 2\text{H}^+$ ;
- б)  $\text{HCO}_3^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ ;
- в)  $\text{Ag}^+ + \text{Cl}^- \rightarrow \text{AgCl}$
- г)  $\text{CaCO}_3 + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ ;
- д)  $\text{Pb}^{2+} + 2\text{I}^- \rightarrow \text{PbI}_2$ ;
- е)  $\text{Al}(\text{OH})_3 + \text{OH}^- \rightarrow \text{AlO}_2^- + 2\text{H}_2\text{O}$ ;
- ж)  $\text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{H}^+ \rightarrow \text{Fe}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O}$ ;
- з)  $\text{Cd}^{2+} + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{Cd}(\text{OH})_2$ ;
- и)  $\text{H}^+ + \text{NO}_2^- \rightarrow \text{HNO}_2$ ;
- к)  $\text{Be}(\text{OH})_2 + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{BeO}_2^{2-} + 2\text{H}_2\text{O}$ ;
- л)  $\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH}$ ;
- м)  $\text{Ba}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{BaSO}_4$ ;
- н)  $\text{HCO}_3^- + \text{OH}^- \rightarrow \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O}$ ;
- о)  $\text{ZnOH}^+ + \text{H}^+ \rightarrow \text{Zn}^{2+} + \text{H}_2\text{O}$ .

5. Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения реакций взаимодействия в растворах между веществами:

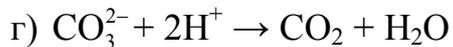
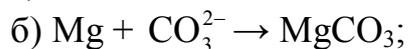
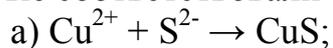
- а)  $\text{CuSO}_4$  и  $\text{KOH}$ ;
- б)  $\text{NH}_4\text{Cl}$  и  $\text{Ba}(\text{OH})_2$ ;
- в)  $\text{KHCO}_3$  и  $\text{KOH}$ ;
- г)  $\text{KHCO}_3$  и  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ;
- д)  $\text{Zn}(\text{OH})_2$  и  $\text{NaOH}$ ;
- е)  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  и  $\text{KOH}$ ;
- ж)  $\text{Be}(\text{OH})_2$  и  $\text{NaOH}$ ;
- з)  $\text{ZnO}$  и  $\text{HNO}_3$ ;
- и)  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ;
- к)  $\text{NaHSiO}_3$  и  $\text{NaOH}$ .



6. Составьте по два различных уравнения в молекулярной форме, которые соответствовали бы следующим уравнениям в сокращенной ионной форме:



7. Предложите по три различных уравнения в молекулярной форме, которые соответствовали бы следующим уравнениям в молекулярной форме:





## Тема №4 «ВОДОРОДНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ»

### Теоретическая часть

Вода – очень слабый электролит, однако она диссоциирует в незначительной степени по реакции



Этому процессу соответствует константа диссоциации или

$$[\text{H}^+] \cdot [\text{OH}^-] = K_d \cdot [\text{H}_2\text{O}] = K_{\text{H}_2\text{O}} = 10^{-14},$$

где  $[\text{H}_2\text{O}]$  постоянная величина, равная 55,55 моль/л.

Константа  $K_{\text{H}_2\text{O}}$ , равная произведению концентраций ионов  $\text{H}^+$  и  $\text{OH}^-$ , представляет собой постоянную величину и называется ионным произведением воды.

В нейтральном растворе  $[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] = 10^{-7}$  моль/л;

В кислых растворах  $[\text{H}^+] > 10^{-7}$  моль/л;

В щелочных растворах  $[\text{H}^+] < 10^{-7}$  моль/л.

Водородный показатель  $\text{pH} = -\lg[\text{H}^+]$ .

Гидроксильный показатель  $\text{pOH} = -\lg[\text{OH}^-]$ .

В нейтральном растворе  $\text{pH} = 7$ ,  $\text{pOH} = 7$ ;

В кислых растворах  $\text{pH} < 7$ ,  $\text{pOH} > 7$ ;

В щелочных растворах  $\text{pH} > 7$ ,  $\text{pOH} < 7$ .

Взаимосвязь между показателями  $\text{pH}$  и  $\text{pOH}$

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

### Начальный уровень

#### Примеры решения задач

1. Определите  $\text{pH}$ ,  $\text{pOH}$  и  $[\text{OH}^-]$  в растворе с  $[\text{H}^+] = 10^{-13}$  моль/л.

Укажите среду раствора.

Дано:

$$[\text{H}^+] = 10^{-13} \text{ моль/л}$$

$[\text{OH}^-]$ ,  $\text{pH}$ ,  $\text{pOH}$  -?

Решение:

а) Определим  $[\text{OH}^-]$ , используя ионное произведение воды  $K_{\text{H}_2\text{O}}$

$$[\text{OH}^-] = \frac{10^{-14}}{[\text{H}^+]} = \frac{10^{-14}}{10^{-13}} = 10^{-1} \text{ моль/л}$$

б) Определим  $\text{pH}$

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+] = -\lg 10^{-13} = 13 > 7,$$



среда раствора щелочная.  
в) Определим рОН

$$pOH = 14 - pH = 14 - 13 = 1 < 7,$$

среда раствора щелочная.  
Ответ:  $[OH^-] = 10^{-1}$  моль/л;  $pH = 13$ ;  $pOH = 1$ ;  
щелочной раствор.

2. Определите  $[H^+]$ ,  $[OH^-]$  и  $pH$ , если  $pOH$  раствора равен 8. Укажите среду раствора.

Дано:

$$pOH = 8$$

$[H^+]$ ,  $[OH^-]$ ,  $pH$  -?

Решение:

а) Определим  $pH$

$$pH = 14 - pOH = 14 - 8 = 6 < 7,$$

среда раствора кислая.  
б) Определим  $[H^+]$ , используя формулу

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

или

$$[H^+] = 10^{-pH} = 10^{-6} \text{ моль/л}$$

в) Определим  $[OH^-]$ , используя ионное произведение воды

$$[OH^-] = \frac{10^{-14}}{[H^+]} = \frac{10^{-14}}{10^{-6}} = 10^{-8} \text{ моль/л}$$

Ответ:  $pH = 6$ ;  $[H^+] = 10^{-6}$  моль/л;  
 $[OH^-] = 10^{-8}$  моль/л; кислый раствор.

### Задачи для самостоятельного решения

1. Определите  $[OH^-]$ ,  $pH$ ,  $pOH$  и укажите среду раствора, если концентрация ионов водорода равна, моль/л:

а)  $10^{-1}$ ; б)  $10^{-4}$ ; в)  $10^{-8}$ ; г)  $10^{-13}$ ; д) 1.



2. Определите  $[H^+]$ , pH, pOH и укажите среду раствора, если концентрация гидроксильных ионов равна, моль/л:

- а)  $10^{-2}$ ; б)  $10^{-5}$ ; в)  $10^{-9}$ ; г)  $10^{-14}$ ; д) 1.

3. Определите  $[H^+]$ ,  $[OH^-]$ , pOH и укажите среду раствора, pH которого равен:

- а) 0; б) 2; в) 7; г) 9; д) 14.

4. Определите  $[H^+]$ ,  $[OH^-]$ , pH и укажите среду раствора, pOH которого равен:

- а) 0; б) 4; в) 11; г) 13; д) 14.

### Средний уровень Примеры решения задач

1. Определите pH, pOH,  $[OH^-]$  и укажите среду раствора с  $[H^+] = 4,3 \cdot 10^{-5}$  моль/л.

Дано:

$$[H^+] = 4,3 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л}$$

$[OH^-]$ , pH, pOH –?

Решение:

а) Определим pH

$$pH = -\lg[H^+] = -\lg 4,3 \cdot 10^{-5} = 4,36 \text{ } 7,$$

среда раствора кислая.

б) Определим pOH

$$pOH = 14 - pH = 14 - 4,36 = 9,64 \text{ } 7,$$

среда раствора кислая.

в) Определим  $[OH^-]$ , используя ионное произведение воды

$$[OH^-] = \frac{10^{-14}}{[H^+]} = \frac{10^{-14}}{4,3 \cdot 10^{-5}} = 2,32 \cdot 10^{-10} \text{ моль/л}$$

Ответ: pH = 4,36; pOH = 9,64;

$[OH^-] = 2,32 \cdot 10^{-10}$  моль/л.; кислый раствор.

2. Определите pH,  $[H^+]$ ,  $[OH^-]$  и укажите среду раствора, pOH которого равен 5,86.

Дано:

$$pOH = 5,86$$

Решение:

а) Определим pH



pH,  $[H^+]$ ,  $[OH^-]$  –?

$$pH = 14 - pOH = 14 - 5,86 = 8,14 > 7,$$

среда раствора щелочная.

б) Определим  $[H^+]$

$$[H^+] = 10^{-pH} = 10^{-8,14} \text{ моль/л}$$

в) Определим  $[OH^-]$

$$[OH^-] = 10^{-pOH} = 10^{-5,86} \text{ моль/л}$$

Ответ: pH = 8,14;  $[H^+] = 10^{-8,14}$  моль/л;  
 $[OH^-] = 10^{-5,86}$  моль/л; щелочной раствор.

### Задачи для самостоятельного решения

1. Определите  $[OH^-]$ , pH, pOH и укажите реакцию раствора,  $[H^+]$  которого равна, моль/л: а)  $2,9 \cdot 10^{-8}$ ; б)  $8,4 \cdot 10^{-7}$ ; в)  $5,6 \cdot 10^{-6}$ ; г)  $1,4 \cdot 10^{-4}$ ; д)  $0,58 \cdot 10^{-1}$ .
2. Определите  $[H^+]$ , pH, pOH и укажите реакцию раствора,  $[OH^-]$  которого равна, моль/л: а)  $1,9 \cdot 10^{-9}$ ; б)  $7,85 \cdot 10^{-6}$ ; в)  $5,4 \cdot 10^{-5}$ ; г)  $0,86 \cdot 10^{-13}$ ; д)  $0,14 \cdot 10^{-2}$ .
3. Определите  $[H^+]$ ,  $[OH^-]$ , pOH и укажите реакцию раствора, pH которого равен: а) 1,4; б) 2,9; в) 0,5; г) 9,4; д) 13,8.
4. Определите  $[H^+]$ ,  $[OH^-]$ , pH и укажите среду раствора, pOH которого равен: а) 0,18; б) 3,58; в) 6,1; г) 9,4; д) 12,8.

### Высший уровень

#### Примеры решения задач

1. Вычислите pH 0,01 N раствора уксусной кислоты, в котором степень диссоциации кислоты равна 0,042.



Дано:  
 $N = 0,01 \text{ Н}$   
 $\alpha = 0,042$

Решение:  
 По определению, степень диссоциации показывает долю продиссоциировавших молекул или

$$\alpha = \frac{\text{число продиссоциировавших молекул}}{\text{общее число молекул}}$$

pH - ?

В применении к одноосновной уксусной кислоте

$$\alpha = \frac{[\text{H}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} = \frac{[\text{H}^+]}{0,01} = 0,042,$$

откуда можно выразить  $[\text{H}^+]$   
 $[\text{H}^+] = 0,01 \cdot 0,042 = 4,2 \cdot 10^{-4}$ .  
 Следовательно, pH равен:

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+] = -\lg 4,2 \cdot 10^{-4} = 3,38$$

Ответ: pH = 3,38.

2. Во сколько раз концентрация ионов водорода в крови (pH = 7,36) больше, чем в спинномозговой жидкости (pH = 7,53)?

Дано:  
 $\text{pH}_{\text{кр.}} = 7,36$   
 $\text{pH}_{\text{спин.}} = 7,53$

$$\frac{[\text{H}^+]_{\text{кр.}}}{[\text{H}^+]_{\text{спин.}}} - ?$$

Решение:  
 Определим концентрации ионов  $\text{H}^+$  в крови и спинномозговой жидкости

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

откуда  $[\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}}$ :  
 $[\text{H}^+]_{\text{кр.}} = 10^{-7,36} \text{ моль/л};$   
 $[\text{H}^+]_{\text{спин.}} = 10^{-7,53} \text{ моль/л}.$

Их отношение равно

$$\frac{[\text{H}^+]_{\text{кр.}}}{[\text{H}^+]_{\text{спин.}}} = \frac{10^{-7,36}}{10^{-7,53}} = 10^{0,17} = 1,5.$$

Ответ: в 1,5 раза



3. Определите pH раствора уксусной кислоты, если концентрация раствора 0,02 Н, а  $K_d = 1,75 \cdot 10^{-5}$ .

Дано:

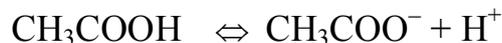
$$[\text{CH}_3\text{COOH}] = 0,02 \text{ Н}$$

$$K_d = 1,75 \cdot 10^{-5}$$

pH-?

Решение:

Диссоциация уксусной кислоты выражается уравнением



и описывается константой диссоциации

$$K = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-] \cdot [\text{H}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$$

Так как  $[\text{CH}_3\text{COO}^-] = [\text{H}^+]$ , то К можно записать как

$$K = \frac{[\text{H}^+]^2}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$$

откуда

$$[\text{H}^+] = \sqrt{K \cdot [\text{CH}_3\text{COOH}]} = \sqrt{1,75 \cdot 10^{-5} \cdot 0,02} = 5,91 \cdot 10^{-4} \text{ Н}$$

Следовательно, pH равен

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+] = -\lg 5,91 \cdot 10^{-4} = 3,22$$

Ответ: pH = 3,22.

### Задачи для самостоятельного решения

1. Вычислите pH 0,03 Н раствора слабой одноосновной кислоты, в котором степень диссоциации кислоты равна: а) 0,0035; б) 0,018; в) 0,0025.

2. Определите pH, pOH и  $[\text{OH}^-]$  0,01 Н раствора:

а) уксусной кислоты, если  $K_d = 1,7 \cdot 10^{-5}$ ;

б) азотистой кислоты, если  $K_d = 4 \cdot 10^{-4}$ ;

в) муравьиной кислоты, если  $K_d = 1,7 \cdot 10^{-4}$ ;

г) синильной кислоты, если  $K_d = 7,2 \cdot 10^{-10}$ ;

д) фтористоводородной кислоты, если  $K_d = 7,2 \cdot 10^{-4}$ ;



- е) хлорноватистой кислоты, если  $K_d = 3 \cdot 10^{-3}$ .
3. Во сколько раз концентрация ионов водорода в растворе с  $\text{pH} = 6,54$  больше, чем в растворе с  $\text{pH} = 8$ , 42?
4. Как надо изменить концентрацию ионов  $\text{H}^+$  в растворе, чтобы  $\text{pH}$  раствора увеличился на единицу: а) увеличить в 10 раз; б) уменьшить в 10 раз; в) уменьшить на 1 моль/л?
5. Как надо изменить концентрацию ионов  $\text{OH}^-$  в растворе, чтобы  $\text{pH}$  раствора уменьшился на единицу: а) увеличить в 10 раз; б) уменьшить на 1 моль/л; в) уменьшить в 10 раз; г) уменьшить на 1 моль/л?

## Творческий уровень

### Задачи для самостоятельного решения

1. Определите концентрацию ионов  $\text{HCO}_3^-$  в 0,01 М растворе угольной кислоты, если  $\text{pH}$  этого раствора равен 4,18, а  $K_d = 4,45 \cdot 10^{-7}$ .
2. Определите концентрацию ионов  $\text{HS}^-$  в 0,03 М растворе сероводородной кислоты, если  $\text{pH}$  этого раствора равен 3,82, а  $K_{d1} = 5,7 \cdot 10^{-8}$ .
3. Определите концентрацию ионов  $\text{HSO}_3^-$  в 0,02 М растворе сернистой кислоты, если  $\text{pH}$  этого раствора равен 5,4, а  $K_{d1} = 1,7 \cdot 10^{-2}$ .
4. В 0,01 Н растворе одноосновной кислоты  $\text{pH} = 4,25$ . Какое утверждение о силе этой кислоты правильно: а) кислота слабая; б) кислота сильная? Ответ мотивируйте.
5. Определите  $\text{pH}$  раствора, в 1 л которого содержится 0,1 г  $\text{NaOH}$ . Диссоциацию щёлочи считайте полной.
6. Вычислите  $\text{pH}$  следующих растворов слабых электролитов: а) 0,02 М  $\text{NH}_4\text{OH}$  ( $\alpha = 1,3\%$ ;  $K_d = 1,8 \cdot 10^{-5}$ ); б) 0,1 М  $\text{HCN}$  ( $\alpha = 0,009\%$ ;  $K_d = 7,2 \cdot 10^{-10}$ ); в) 0,05 Н  $\text{HCOOH}$  ( $\alpha = 4,2\%$ ;  $K_d = 1,76 \cdot 10^{-4}$ ); г) 0,01 М  $\text{CH}_3\text{COOH}$  ( $\alpha = 1,3\%$ ;  $K_d = 1,75 \cdot 10^{-5}$ ). Предложите варианты расчёта  $\text{pH}$  с использованием  $\alpha$  и  $K_d$ .
7. Чему равен  $\text{pH}$  раствора, в 0,2 дм<sup>3</sup> которого содержится  $7 \cdot 10^{-4}$  г  $\text{NH}_4\text{OH}$ ? Константа диссоциации  $\text{NH}_4\text{OH}$   $1,8 \cdot 10^{-5}$ .



## Тема №5 «ГИДРОЛИЗ СОЛЕЙ»

### Теоретическая часть

**Гидролиз**- это взаимодействие вещества с водой, при котором составные части вещества соединяются с частями воды ( $H^+$  и  $OH^-$ ). В ходе гидролиза изменяется pH раствора.

По отношению к гидролизу соли можно разделить на 4 группы в зависимости от того какой силы кислотой и основанием образована соль.

1 группа: соль образована сильной кислотой и сильным основанием ( $KCl$ ,  $NaNO_3$ ,  $Li_2SO_4$ );

2 группа: соль образована сильной кислотой и слабым основанием ( $ZnCl_2$ ,  $Cu(NO_3)_2$ ,  $FeSO_4$ );

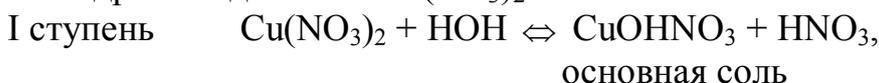
3 группа: соль образована слабой кислотой и сильным основанием ( $Na_2S$ ,  $K_2CO_3$ ,  $Li_2SO_3$ );

4 группа: соль образована слабой кислотой и слабым основанием ( $(NH_4)_2S$ ,  $Cu(CH_3COO)_2$ ).

Соли 1 группы гидролизу не подвергаются.

Растворы солей 2 группы при гидролизе имеют кислую реакцию ( $pH < 7$ ).

Ступени гидролиза для соли  $Cu(NO_3)_2$ :



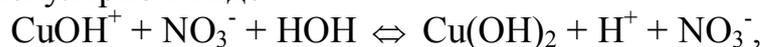
в ионно-молекулярном виде



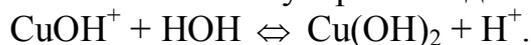
в сокращённом ионно-молекулярном виде



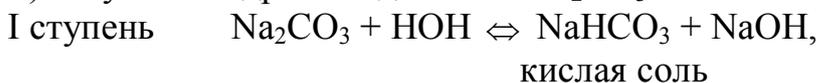
в ионно-молекулярном виде



в сокращённом ионно-молекулярном виде



Растворы солей 3 группы при гидролизе имеют щелочную реакцию ( $pH > 7$ ). Ступени гидролиза для соли  $Na_2CO_3$ .



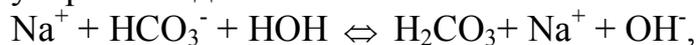
в ионно-молекулярном виде



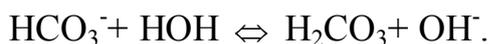
в сокращённом ионно-молекулярном виде



в ионно-молекулярном виде



в сокращённом ионно-молекулярном виде



Растворы солей 4 группы при гидролизе имеют реакцию, близкую к нейтральной ( $\text{pH} \approx 7$ ). Гидролиз соли  $(\text{NH}_4)_2\text{S}$  идет сразу до конца по двум ступеням



в ионно-молекулярном виде

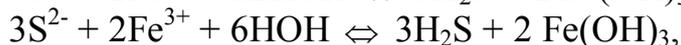
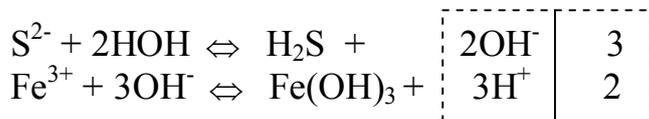


В ходе гидролиза образуются 2 слабых электролита, нет накопления ионов  $\text{H}^+$  и  $\text{OH}^-$ , гидролизу ничто не мешает идти до конца.  $\text{pH}$  раствора определяется при сравнении степеней диссоциации слабой кислоты и слабого основания:  $\alpha_{\text{NH}_4\text{OH}} = 1,3\%$ ;  $\alpha_{\text{H}_2\text{S}} = 0,07\%$ . Так как  $\alpha_{\text{H}_2\text{S}} < \alpha_{\text{NH}_4\text{OH}}$ , то раствор будет иметь слабощелочную реакцию или  $\text{pH} \geq 7$ .

Факторы, усиливающие гидролиз солей. Гидролиз усиливается при повышении температуры, разбавлении раствора и введении противоионов: для солей 2 группы ионов  $\text{OH}^-$ , для солей 3 группы  $\text{H}^+$  ионов.

Совместный гидролиз солей протекает при сливании растворов солей 2 и 3 группы. Обычного обменного взаимодействия не происходит, так как в одном растворе гидролиз солей усиливается друг другом. Гидролиз идет до конца в одну стадию. Рассмотрим совместный гидролиз солей  $\text{Na}_2\text{S}$  (3 группа) и  $\text{FeCl}_3$  (2 группа):

в ионно-молекулярном виде



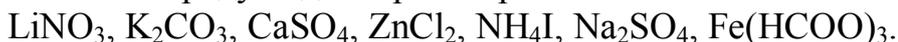
в молекулярном виде



Продукты гидролиза выходят из зоны реакции.

### Начальный уровень Примеры решения задач

1. Укажите среду водных растворов солей



Решение: Реакция водных растворов солей определяется их принадлежностью к определённой группе, то есть силой кислоты и основания их образовавших:

- соль  $\text{LiNO}_3$  образована сильной кислотой  $\text{HNO}_3$  и сильным основанием  $\text{LiOH}$  (I группа) - соль гидролизу не подвергается;



- соль  $K_2CO_3$  - слабая кислота  $H_2CO_3$  и сильное основание  $KOH$  (III группа) - щелочная среда;

- соль  $CaSO_4$  - сильная кислота  $H_2SO_4$  и сильное основание  $Ca(OH)_2$  (I группа) - соль гидролизу не подвергается;

- соль  $ZnCl_2$  - сильная кислота  $HCl$  и слабое основание  $Zn(OH)_2$  (II группа) - кислая среда ( $pH < 7$ );

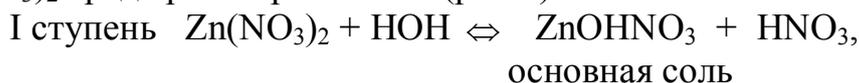
- соль  $NH_4I$  - сильная кислота  $HI$  и слабое основание  $NH_4OH$  (II группа) - кислая среда ( $pH < 7$ );

- соль  $Na_2SO_4$  - сильная кислота  $H_2SO_4$  и сильное основание  $NaOH$  (I группа) - соль гидролизу не подвергается;

- соль  $Fe(HCOO)_3$  - слабая кислота  $HCOOH$  и слабое основание  $Fe(OH)_3$  (IV группа) - среда близкая к нейтральной.

2. Напишите уравнение гидролиза солей  $Zn(NO_3)_2$  и  $Na_2S$  по I ступени в молекулярном, молекулярно-ионном и сокращённом молекулярно-ионном виде. Укажите среду водных растворов этих солей.

Решение: Соль  $Zn(NO_3)_2$  относится ко 2 группе, так как она образована сильной кислотой  $HNO_3$  и слабым основанием  $Zn(OH)_2$ . При гидролизе соли  $Zn(NO_3)_2$  среда раствора кислая ( $pH < 7$ ):



в ионно-молекулярном виде

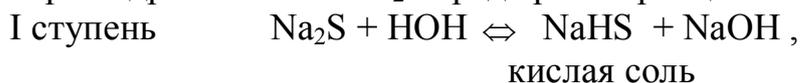


в сокращённом ионно-молекулярном виде



Соль  $Na_2S$  относится к 3 группе, так как она образована слабой кислотой  $H_2S$  и сильным основанием  $NaOH$ .

При гидролизе соли  $Na_2S$  среда раствора щелочная ( $pH > 7$ ):



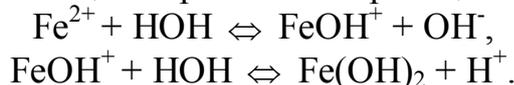
в ионно-молекулярном виде



в сокращённом ионно-молекулярном виде



3. Укажите способы смещения равновесия реакций гидролиза вправо:



Решение: Судя по сокращённым молекулярно-ионным уравнениям, идёт гидролиз соли  $Fe(II)$ , образованной сильной кислотой, например, это могут быть соли  $FeCl_2$ ,  $FeSO_4$ ,  $Fe(NO_3)_2$ ,  $FeBr_2$ . Для смещения равновесия реакций гидролиза вправо или для ускорения гидролиза можно: повысить температуру, разбавить раствор водой, ввести противоионы (в данном случае  $OH^-$ ).



## Задачи для самостоятельного решения

1. Укажите среду водных растворов солей одного из ниже приведённых рядов:

- а)  $\text{LiNO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{ZnCl}_2$ ,  $\text{NH}_4\text{Br}$ ,  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ;
- б)  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{S}$ ,  $\text{Al}(\text{CH}_3\text{COO})_3$ ,  $\text{LiCl}$ ;
- в)  $\text{NaCl}$ ,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ,  $\text{ZnSO}_4$ ,  $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{KCN}$ ,  $\text{Li}_2\text{SO}_4$ ;
- г)  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{NH}_4\text{CN}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{FeSO}_4$ ,  $\text{KCNS}$ ;
- д)  $\text{K}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{LiCl}$ ,  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NH}_4\text{CNS}$ ,  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{CaCl}_2$ ;
- е)  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ,  $\text{FeCl}_2$ ,  $\text{NH}_4\text{CH}_3\text{COO}$ ,  $\text{K}_3\text{BO}_3$ ,  $\text{AlCl}_3$ ;
- ж)  $\text{KCl}$ ,  $\text{NH}_4\text{I}$ ,  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ ,  $\text{NaCN}$ ,  $\text{Li}_2\text{SO}_4$ ;
- з)  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{Na}_2\text{S}$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NaF}$ ,  $\text{NaCl}$ ;
- и)  $\text{Ca}(\text{CN})_2$ ,  $\text{NaI}$ ,  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ ,  $\text{CuCl}_2$ ;
- к)  $\text{Zn}(\text{HCOO})_2$ ,  $\text{KF}$ ,  $\text{FeCl}_2$ ,  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{NaCH}_3\text{COO}$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ .

2. Укажите способы смещения равновесия реакций гидролиза вправо:

- а)  $\text{Cr}^{3+} + \text{HOH} \rightleftharpoons \text{CrOH}^{2+} + \text{H}^+$ ;
- б)  $\text{SiO}_3^{2-} + \text{HOH} \rightleftharpoons \text{HSiO}_3^- + \text{OH}^-$ ;
- в)  $\text{CuOH}^+ + \text{HOH} \rightleftharpoons \text{Cu}(\text{OH})_2 + \text{H}^+$ ;
- г)  $\text{HS}^- + \text{HOH} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{S} + \text{OH}^-$ .

3. Напишите уравнение гидролиза по I степени в молекулярной, молекулярно-ионной и сокращённой молекулярно-ионной форме для двух выбранных вами солей:

- а)  $\text{CuCl}_2$  и  $\text{K}_2\text{SiO}_3$ ;
- б)  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$  и  $\text{Na}_2\text{S}$ ;
- в)  $\text{ZnBr}_2$  и  $\text{K}_3\text{PO}_4$ ;
- г)  $\text{Na}_3\text{BO}_3$  и  $\text{AlCl}_3$ ;
- д)  $\text{KF}$  и  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$ ;
- е)  $\text{CuBr}_2$  и  $\text{KCN}$ ;
- ж)  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  и  $\text{CrCl}_3$ ;
- з)  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  и  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ ;
- и)  $\text{FeCl}_2$  и  $\text{NaCH}_3\text{COO}$ ;
- к)  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$  и  $\text{K}_2\text{CO}_3$ .

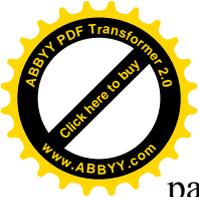
### Средний уровень

#### Примеры решения задач

1. Укажите, какие из перечисленных ниже солей подвергаются гидролизу:  $\text{ZnBr}_2$ ,  $\text{K}_2\text{S}$ ,  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$ ,  $\text{K}_2\text{SiO}_3$ ,  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{LiCl}$ . Для каждой из гидролизующихся солей напишите уравнения гидролиза по I степени в молекулярной и ионно-молекулярной форме и укажите реакцию водного раствора соли.

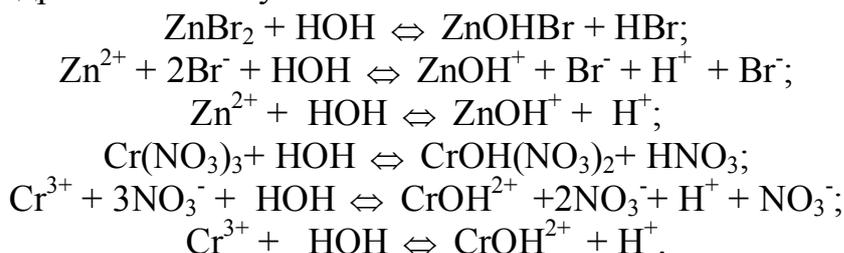
Решение: Не подвергаются гидролизу соли I группы  $\text{CaSO}_4$  и  $\text{LiCl}$ .

Подвергаются гидролизу соли II группы:  $\text{ZnBr}_2$ , и  $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$ . Среда



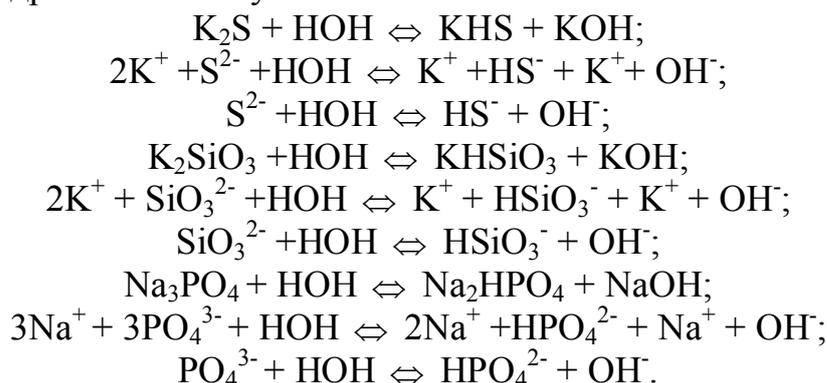
раствора кислая.

Реакции гидролиза по I степени:



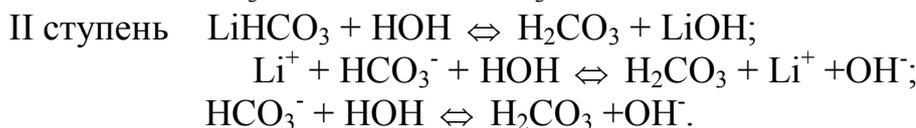
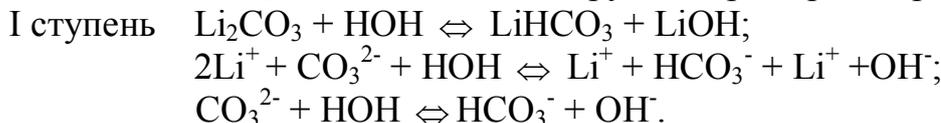
Подвергаются гидролизу соли III группы:  $\text{K}_2\text{S}$ ,  $\text{K}_2\text{SiO}_3$ ;  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ . Среда раствора щелочная.

Реакции гидролиза по I степени:

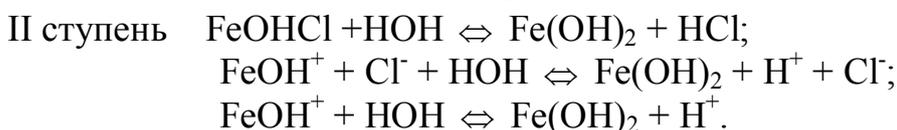
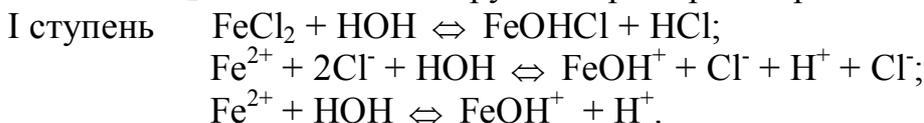


2. Напишите реакции ступенчатого гидролиза солей  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{FeCl}_2$ ,  $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2$  в молекулярной и ионно-молекулярной форме.

Решение: соль  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  относится к 3 группе. Среда раствора щелочная.



Соль  $\text{FeCl}_2$  относится ко 2 группе. Среда раствора кислая.



Соль  $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2$  относится ко 4 группе. Среда раствора, близкая к нейтральной. Гидролиз идет до конца, сразу по двум ступеням:





## Задачи для самостоятельного решения

1. Какие значения pH ( $>7$ ;  $<7$ ) имеют растворы двух выбранных вами солей. Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения гидролиза этих солей по ступеням:

- а)  $MnCl_2$  и  $Na_2CO_3$ ;
- б)  $Ni(NO_3)_2$  и  $CH_3COOK$ ;
- в)  $Al(NO_3)_3$  и  $Li_2S$ ;
- г)  $AlCl_3$  и  $K_2SiO_3$ ;
- д)  $CoCl_2$  и  $Na_2CO_3$ ;
- е)  $Pb(NO_3)_2$  и  $K_3BO_3$ ;
- ж)  $K_2S$  и  $NiCl_2$ ;
- з)  $Pb(CH_3COO)_2$  и  $Cu(NO_3)_2$ ;
- и)  $FeCl_2$  и  $(NH_4)_2CO_3$ ;
- к)  $(NH_4)_2S$  и  $Fe(NO_3)_3$ .

2. Какие из солей подвергаются гидролизу? Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения гидролиза солей по ступеням:

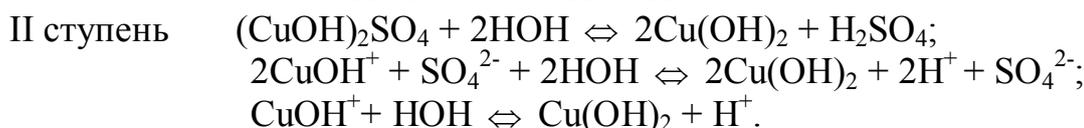
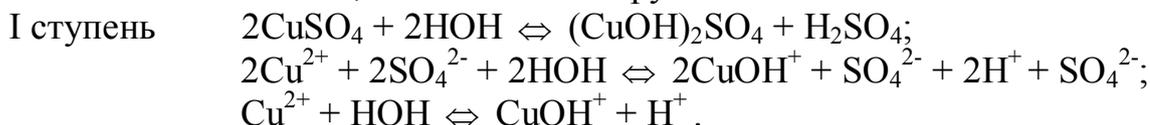
- а)  $KNO_3$ ,  $CrCl_3$ ,  $Cu(NO_3)_2$ ,  $NaCN$ ;
- б)  $K_3PO_4$ ,  $Pb(NO_3)_2$ ,  $LiCl$ ,  $Na_2S$ ;
- в)  $K_2CO_3$ ,  $K_2SO_4$ ,  $ZnCl_2$ ,  $NH_4CN$ ;
- г)  $CuCl_2$ ,  $Zn(NO_3)_2$ ,  $(NH_4)_2S$ ,  $LiNO_3$ ;
- д)  $CH_3COOK$ ,  $AlCl_3$ ,  $NaNO_3$ ,  $K_3BO_3$ ;
- е)  $CuCl_2$ ,  $Na_3PO_4$ ,  $NaI$ ,  $(NH_4)_2S$ ;
- ж)  $CH_3COONH_4$ ,  $K_2S$ ,  $NiCl_2$ ,  $Na_2SO_4$ ;
- з)  $Pb(HCOO)_2$ ,  $CoCl_2$ ,  $Na_2CO_3$ ,  $K_2SO_4$ ;
- и)  $NaBr$ ,  $Na_2S$ ,  $Cu(NO_3)_2$ ,  $FeCl_2$ ;
- к)  $NaCN$ ,  $KNO_3$ ,  $CaCl_2$ ,  $ZnBr_2$ ,  $Cr(NO_3)_3$ .

### Высший уровень

#### Примеры решения задач

1. Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения гидролиза соли  $CuSO_4$ . Какие факты усиливают гидролиз?

Решение: Соль  $CuSO_4$  относится ко 2 группе.



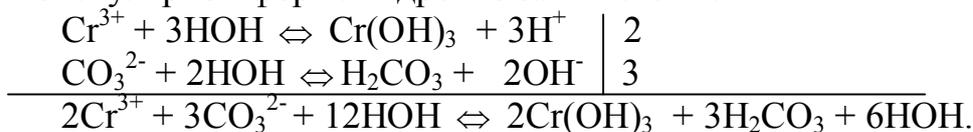
Факторами, усиливающими гидролиз, являются повышение температуры, разбавление раствора и введение противоионов ( $OH^-$ ).

2. Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения

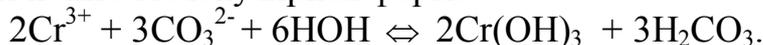


совместного гидролиза, происходящего при смешивании растворов  $K_2CO_3$  и  $CrCl_3$ . Каждая из взятых солей гидролизуеться необратимо до конца.

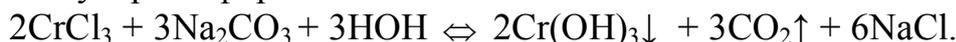
Решение: Соль  $CrCl_3$  относится ко 2 группе солей, а  $K_2CO_3$  - к 3 группе солей. В ионно-молекулярной форме гидролиз запишется как



Сокращённая ионно-молекулярная форма



Молекулярная форма



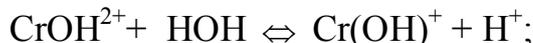
3. Какие из перечисленных ниже солей, подвергаясь частичному гидролизу, образуют основные соли: а)  $Cr_2(SO_4)_3$ ; б)  $Na_2CO_3$ ; в)  $AgNO_3$ ; г)  $AlCl_3$ ?

Решение: При гидролизе по I степени основные соли образуют соли, относящиеся ко 2 группе и имеющие двухзарядный катион. Если катион имеет заряд  $3+$ , то основная соль может образоваться и на II степени гидролиза. Из указанного ряда к подобным солям относятся  $Cr_2(SO_4)_3$  и  $AlCl_3$ .

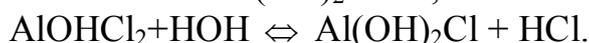
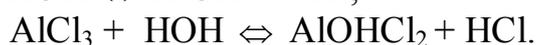
Для соли  $Cr_2(SO_4)_3$ :



II степень



Для соли  $AlCl_3$ :



4. Исходя из значений констант диссоциаций  $NH_4OH$  ( $K_d=1,8 \cdot 10^{-5}$ ) и  $HCN$  ( $K_d=7,2 \cdot 10^{-10}$ ), укажите реакцию водного раствора соли  $NH_4CN$ .

Решение: Соль  $NH_4CN$  относится к солям IV группы. Гидролиз протекает до конца



с образованием слабого основания  $NH_4OH$  и слабой кислоты  $HCN$ . Так как  $K_{dNH_4OH} > K_{dHCN}$ , то в растворе будут преобладать ионы  $OH^-$ , среда раствора будет слабощелочная.



## Задачи для самостоятельного решения

1. Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения гидролиза солей. Какие факторы усиливают гидролиз каждой соли?

- а)  $\text{FeSO}_4$  и  $\text{K}_3\text{PO}_4$ ;
- б)  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  и  $\text{Na}_3\text{BO}_3$ ;
- в)  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$  и  $\text{K}_2\text{SiO}_3$ ;
- г)  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  и  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ;
- д)  $\text{NiSO}_4$  и  $\text{K}_3\text{BO}_3$ .

2. Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения совместного гидролиза, происходящего при смешивании растворов солей:

- а)  $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$  и  $\text{Na}_2\text{S}$ ;
- б)  $\text{NiCl}_2$  и  $\text{K}_2\text{S}$ ;
- в)  $\text{CrCl}_3$  и  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ;
- г)  $\text{K}_2\text{SiO}_3$  и  $\text{FeCl}_3$ ;
- д)  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  и  $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$ ;
- е)  $\text{AlCl}_3$  и  $\text{NaF}$ ;
- ж)  $\text{CrCl}_3$  и  $\text{Na}_2\text{S}$ ;
- з)  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$  и  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ;
- и)  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  и  $\text{Na}_2\text{S}$ ;
- к)  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  и  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ;

3. Какие из перечисленных ниже солей, подвергаясь частичному гидролизу, образуют основные соли? Напишите уравнения гидролиза.

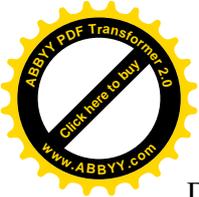
- а)  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{NaF}$ ,  $\text{CuCl}_2$ ,  $\text{K}_2\text{S}$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ ;
- б)  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{K}_2\text{S}$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NiBr}_2$ ,  $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ ;
- в)  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{CuCl}_2$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ ;
- г)  $\text{CoCl}_2$ ,  $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ ,  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NaCl}$ ;
- д)  $\text{KI}$ ,  $\text{FeCl}_2$ ,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{Na}_3\text{BO}_3$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ .

4. Исходя из значений констант диссоциации слабых кислот и слабого основания, укажите реакцию водных растворов солей аммония ( $K_{\text{дNH}_4\text{OH}} = 1,8 \cdot 10^{-5}$ ). Напишите молекулярные и ионно-молекулярные уравнения гидролиза.

- а)  $\text{NH}_4\text{F}$  ( $K_{\text{дHF}} = 7,2 \cdot 10^{-4}$ );
- б)  $(\text{NH}_4)_2\text{S}$  ( $K_{\text{дH}_2\text{S}} = 5,7 \cdot 10^{-8}$ );
- в)  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  ( $K_{\text{дH}_2\text{CO}_3} = 4,3 \cdot 10^{-7}$ );
- г)  $\text{NH}_4\text{HCOO}$  ( $K_{\text{дHCOOH}} = 1,76 \cdot 10^{-4}$ ).

## Творческий уровень

1. Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения



гидролиза солей, растворы которых имеют: а) щелочную реакцию; б) кислотную реакцию; в) реакцию, близкую к нейтральной.

2. При смешивании растворов  $\text{CuSO}_4$  и  $\text{K}_2\text{CO}_3$  выпадает осадок основной соли  $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$  и выделяется  $\text{CO}_2$ . Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения происходящего гидролиза.

3. Добавление каких из перечисленных ниже реагентов к раствору  $\text{FeCl}_3$  усилит гидролиз соли: а)  $\text{HCl}$ ; б)  $\text{NaOH}$ ; в)  $\text{ZnCl}_2$ ; г)  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ; д)  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ; е)  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ; ж)  $\text{H}_2\text{O}$ ?

4. К раствору  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  добавили следующие вещества: а)  $\text{HCl}$ ; б)  $\text{NaOH}$ ; в)  $\text{CuCl}_2$ ; г)  $\text{K}_2\text{S}$ . В каких случаях гидролиз карбоната натрия усилится? Почему? Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения гидролиза соответствующих солей.

5. К раствору  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  добавили следующие вещества: а)  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ; б)  $\text{KOH}$ ; в)  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ; г)  $\text{ZnSO}_4$ ; д)  $\text{Na}_2\text{S}$ . В каких случаях гидролиз сульфата алюминия усилится? Почему? Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения гидролиза соответствующих солей.



## Тема №6 “ХИМИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ ТОКА”

### Теоретическая часть

В электрохимии выделяют два направления:

- получение электрического тока за счет химической реакции;
- протекание химических процессов под действием электрического тока.

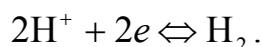
Первое направление используют в химических источниках тока, второе - при электролизе.

При погружении металлов в раствор на их поверхности образуется двойной электрический слой, появление которого обуславливает скачок потенциала ( $E$ ). Стандартные потенциалы металлов ( $E^\circ$ ) приведены в ряду напряжений металлов (см. приложение). Стандартные потенциалы измерены на металле, погруженном в 1 моль/л раствор собственной соли, против водородного электрода, потенциал которого условно принят за ноль.

То есть в ряду напряжений металлов приведены стандартные потенциалы реакций



На водородном электроде протекает реакция



Он обозначается  $\text{Pt}(\text{H}_2)/\text{H}^+$ .

Электродные потенциалы зависят от природы и концентрации вещества и температуры системы. Эти зависимости выражаются формулой Нернста

$$E = E^\circ + \frac{2,3RT}{nF} \lg C = E^\circ + \frac{0,058}{n} \lg C;$$

где  $R$  - универсальная газовая постоянная (8,31 Дж/моль·К);

$T$  - температура, К;

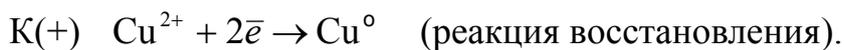
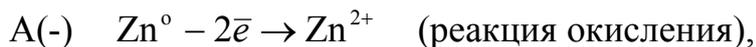
$F$  - число Фарадея (96500 Кл/моль);

$C$  - молярная концентрация, моль/л.

**Гальванические элементы** - это устройства для преобразования химической энергии в электрическую. Рассмотрим устройство медно-цинкового элемента (элемент Якоби-Даниэля). Две пластины металлов  $\text{Cu}$  и  $\text{Zn}$  погружены в растворы собственных солей  $\text{CuSO}_4$  и  $\text{ZnSO}_4$ . Для предупреждения сливания растворы разделены мембраной (рис.1).

Так как  $\text{Zn}$  является более активным металлом (он расположен в ряду напряжений металлов выше  $\text{Cu}$ ), то он будет окисляться. На меди как менее активном металле будет протекать реакция восстановления ионов  $\text{Cu}^{2+}$ .

Таким образом, электродные реакции будут следующими



Общее электрохимическое уравнение

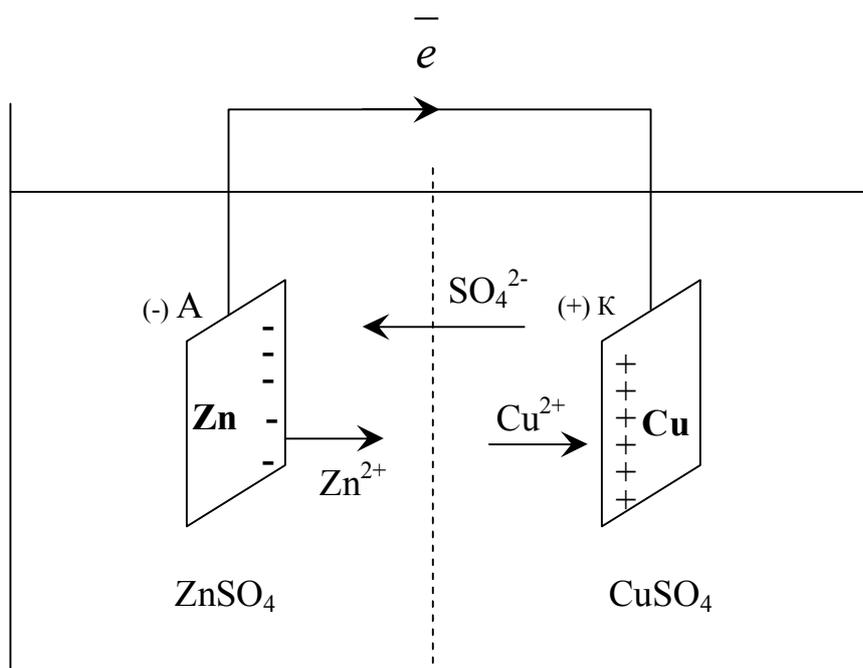
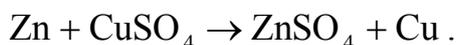
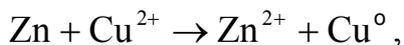
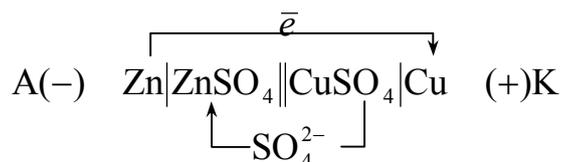


Рисунок 6.1- Гальванический элемент Якоби-Даниэля

Электрод, на котором протекает окисление, называется анодом. Он заряжен отрицательно, так как на нем создается избыток отрицательных зарядов (Zn - анод). Электрод, на котором протекает восстановление, называется катодом, он заряжен положительно (Cu - катод).

### Схема гальванического элемента



По внешней цепи ток движется от анода к катоду.

По внутренней цепи (через мембрану) переносятся анионы  $\text{SO}_4^{2-}$ .



## Расчет электродвижущей силы (ЭДС)

ЭДС рассчитывают по разности между потенциалом катода и потенциалом анода по формуле

$$\text{ЭДС} = E_{\text{к}} - E_{\text{а}}$$

Если концентрации солей неизвестны, то используют **приближенный метод расчета ЭДС** по значениям стандартных потенциалов по формуле

$$\text{ЭДС} = E_{\text{к}}^{\circ} - E_{\text{а}}^{\circ}$$

Например, для медно-цинкового электрода

$$\text{ЭДС} = E_{\text{Cu}}^{\circ} - E_{\text{Zn}}^{\circ} = 0,34 - (-0,76) = 1,1\text{В}$$

Если концентрации солей известны, то используют **точный метод расчета ЭДС** с использованием формулы Нернста. Например, рассчитаем ЭДС медно-цинкового элемента, если  $C_{\text{Cu}^{2+}} = 1$  моль/л;  $C_{\text{Zn}^{2+}} = 0,0001$  моль/л.

Так как

$$\text{ЭДС} = E_{\text{к}} - E_{\text{а}}$$

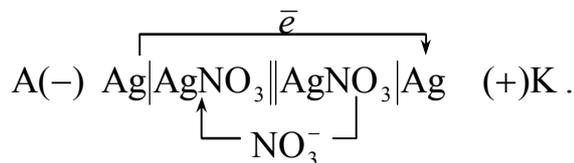
то надо рассчитывать отдельно  $E_{\text{к}}$  и  $E_{\text{а}}$ :

$$E_{\text{к}} = E_{\text{Cu}} = E_{\text{Cu}}^{\circ} + \frac{0,058}{n} \lg C_{\text{Cu}^{2+}} = 0,34 + \frac{0,058}{2} \lg 1 = 0,34 \text{ В};$$

$$E_{\text{а}} = E_{\text{Zn}} = E_{\text{Zn}}^{\circ} + \frac{0,058}{2} \lg 10^{-4} = -0,76 - \frac{4 \cdot 0,058}{2} = -0,876 \text{ В},$$

отсюда 
$$\text{ЭДС} = E_{\text{к}} - E_{\text{а}} = 0,34 - (-0,876) = 1,216 \text{ В}.$$

**Концентрационный гальванический элемент** имеет электроды, изготовленные из одного и того же металла, но они опущены в растворы собственной соли различной концентрации. Например, серебряный концентрационный элемент имеет схему



Чтобы элемент работал, необходимо соблюдать соотношение концентраций электролитов  $C_{\text{а}} < C_{\text{к}}$ . Чем это неравенство будет больше, тем выше ЭДС элемента, рассчитываемая по формуле



$$\text{ЭДС} = 0,058 \lg \frac{C_{\text{к}}}{C_{\text{а}}}$$

### Начальный уровень Примеры решения задач

1. Рассчитайте электродный потенциал магния в растворе его соли при концентрации ионов  $\text{Mg}^{2+} = 0,01$  моль/л.

*Дано:*

$$C_{\text{Mg}^{2+}} = 0,1 \text{ моль/л}$$

$$E^0_{\text{Mg}^{2+}/\text{Mg}} = 2,36 \text{ В}$$


---


$$E - ?$$

*Решение:*  
Проводим расчет  $E$  по формуле Нернста

$$E = E^0 + \frac{0,058}{n} \lg C = -2,36 + \frac{0,058}{2} \lg 10^{-1} =$$

$$= -2,36 - 0,029 = -2,389 \text{ В}$$

Ответ: -2,389 В

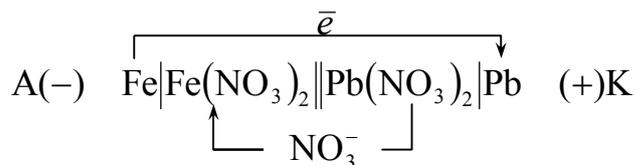
2. Составьте схему железо-свинцового гальванического элемента, напишите уравнения электродных реакций, рассчитайте приближенное значение ЭДС.

*Дано:*

$$E^0_{\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}} = 0,44 \text{ В}$$

$$E^0_{\text{Pb}^{2+}/\text{Pb}} = 0,13 \text{ В}$$

*Решение:* Согласно расположению металлов в ряду напряжений Fe является анодом, Pb – катодом. Схема гальванического элемента будет следующая:

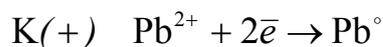
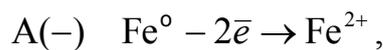


Соли металлов  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$  и  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  должны быть растворимыми, что проверяют по таблице растворимости.



ЭДС - ?

Электродные реакции:



Расчет ЭДС:

$$\text{ЭДС} = E_{\text{Pb}}^0 - E_{\text{Fe}}^0 = -0,13 - (-0,44) = 0,31 \text{ В}$$

Ответ: 0,31 В

### Задачи для самостоятельного решения

1. Рассчитайте электродный потенциал меди в растворах ее соли концентрации: 0,1; 0,01; 0,0001 моль/л.

2. Рассчитайте электродный потенциал марганца в растворах его соли концентрации: 1; 0,01; 0,001 моль/л.

3. Составьте схему, напишите уравнения электродных реакций, рассчитайте приблизительное значение ЭДС для гальванических элементов:

- алюминиево-медного;
- марганцево-серебряного;
- хромово-свинцового;
- железо-серебряного;
- цинково-никелевого.

4. Для какого гальванического элемента будет выше ЭДС: цинково-железного или цинково-свинцового? Почему? Запишите уравнения электродных реакций. Составьте схемы гальванических элементов.

5. Рассчитайте электродный потенциал железа в растворах его соли при концентрациях ионов  $\text{Fe}^{2+}$ : 0,1; 0,01; 0,01 моль/л.

6. Рассчитайте электродный потенциал свинца в растворах его соли концентрации: 1; 0,01; 0,0001 моль/л

7. Для какого гальванического элемента будет выше ЭДС: никелево-серебряного или медно-серебряного? Почему? Запишите уравнения электродных реакций. Составьте схемы гальванических элементов.



## Средний уровень Примеры решения задач

1. При какой концентрации ионов  $Zn^{2+}$  потенциал цинкового электрода будет на 0,015 В меньше его стандартного электродного потенциала?

*Дано:*  
 $E_{Zn}^0 = -0,76 \text{ В}$   
 $\Delta E = 0,015 \text{ В}$   


---

 $C - ?$

*Решение:*  
 а) Найдем величину потенциала цинкового электрода  $E_{Zn}$ :

$$E_{Zn} = E_{Zn}^0 - \Delta E$$

$$E_{Zn} = E_{Zn}^0 - \Delta E = -0,76 - 0,015 = -0,775 \text{ В}$$

б) Найдем концентрацию ионов  $Zn^{2+}$ , соответствующую данному потенциалу:

$$E_{Zn} = E_{Zn}^0 + \frac{0,058}{2} \lg C,$$

Отсюда

$$\lg C = \frac{2 \cdot (E_{Zn} - E_{Zn}^0)}{0,058} = \frac{2 \cdot (-0,775 + 0,76)}{0,058} = \frac{-2 \cdot 0,015}{0,058} = -0,517$$

$$C = 10^{-0,517} = 0,3 \text{ моль/л}$$

Ответ: 0,3 моль/л

3. Составьте схему, напишите электродные уравнения электродных процессов и вычислите ЭДС медно-хромового гальванического элемента, в котором  $C_{Cr^{3+}} = 0,8 \text{ моль/л}$ ,  $C_{Cu^{2+}} = 0,01 \text{ моль/л}$ .

*Дано:*  
 $C_{Cr^{3+}} = 0,8 \text{ моль/л}$   
 $C_{Cu^{2+}} = 0,01 \text{ моль/л}$   


---

 ЭДС - ?

*Решение:*  
 а) Для составления схемы гальванического элемента необходимо подобрать растворимые соли меди (II) и хрома (III), используя таблицу растворимости. Можно использовать соли: хлориды, бромиды, нитраты, сульфаты. Составим схему гальванического элемента с солянокислыми электролитами

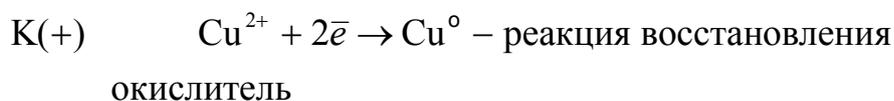
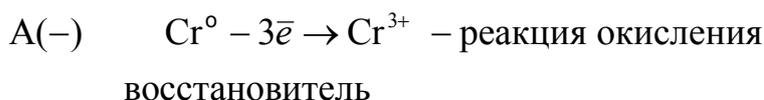


Так как хром стоит выше, чем медь в ряду напряжений металлов, то он является анодом, а Cu -



катодом.

б) Электронные уравнения электродных реакций:



в) Расчет ЭДС приближенным методом

$$\begin{aligned} \text{ЭДС} &= E_{\text{к}}^{\circ} - E_{\text{а}}^{\circ} = E_{\text{Cu}}^{\circ} - E_{\text{Cr}}^{\circ} = 0,34 - (-0,744) = \\ &= 0,34 + 0,744 = 1,084 \text{ В} \end{aligned}$$

г) Расчет ЭДС точным методом

$$\text{ЭДС} = E_{\text{к}} - E_{\text{а}} = E_{\text{Cu}} - E_{\text{Cr}}$$

$$\begin{aligned} E_{\text{Cu}} &= E_{\text{Cu}}^{\circ} + \frac{0,058}{2} \lg C = 0,34 + \frac{0,058}{2} \lg 10^{-2} = \\ &= 0,34 - \frac{2 \cdot 0,058}{2} = 0,282 \text{ В} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_{\text{Cr}} &= E_{\text{Cr}}^{\circ} + \frac{0,058}{3} \lg 0,8 = -0,744 - \frac{0,0969 \cdot 0,058}{3} = \\ &= -0,746 \text{ В} \end{aligned}$$

$$\text{ЭДС} = E_{\text{Cu}} - E_{\text{Cr}} = -0,282 - (-0,746) = 1,028 \text{ В}$$

Ответ: 1,028 В

### Задачи для самостоятельного решения

1. Железная и серебряная пластины соединены внешним проводником и погружены в раствор серной кислоты. Составьте схему данного гальванического элемента и напишите электродные уравнения процессов, происходящих на аноде и на катоде.

2. Магниевую пластинку опустили в раствор его соли. При этом электродный потенциал магния оказался равен -2,41 В. Вычислите концентрацию ионов магния.

3. Составьте схему гальванического элемента, в котором электродами являются магниевая и цинковая пластинки, опущенные в растворы их ионов с



активной концентрацией 1 моль/л. Какой металл является анодом, какой катодом? Напишите уравнения окислительно-восстановительной реакции, протекающей в этом гальваническом элементе. Вычислите его ЭДС.

4. Составьте схему гальванического элемента, в котором электродами являются железо и медь, опущенные в растворы с концентрацией ионов 1 и 0,1 моль/л соответственно. Напишите уравнения окислительно-восстановительной реакции, протекающей в элементе и вычислите его ЭДС.

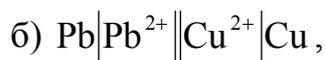
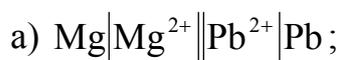
5. Потенциал кадмиевого электрода при 298 К в растворе его соли равен -0,52 В. Рассчитайте равновесную концентрацию ионов  $\text{Cd}^{2+}$ .

6. При какой концентрации ионов  $\text{Pb}^{2+}$  равновесный потенциал свинцового электрода при 298 К будет равен стандартному потенциалу никелевого электрода?

7. При какой концентрации ионов  $\text{Fe}^{2+}$  равновесный потенциал железного электрода при 298 К будет равен стандартному потенциалу цинкового электрода?

8. Гальванический элемент состоит из металлического цинка, погруженного в 0,1 М раствор нитрата цинка, и свинца, погруженного в 0,02 М раствор нитрата свинца. Вычислите ЭДС элемента, напишите уравнения электродных процессов. Составьте схему элемента.

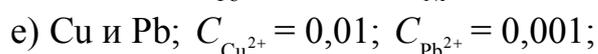
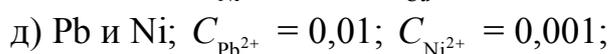
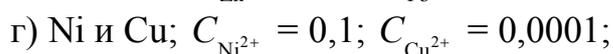
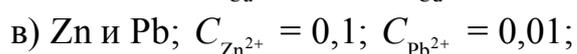
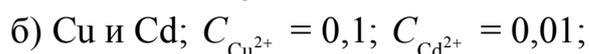
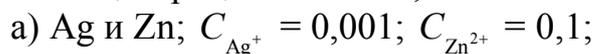
9. В каком направлении будут перемещаться электроны во внешней цепи следующих гальванических элементов:



если все растворы электролитов одномолярные? Какой металл будет растворяться в каждом из этих случаев? Напишите уравнения электродных реакций. Вычислите ЭДС гальванических элементов.

10. Потенциал водородного электрода в водном растворе равен -118 мВ. Вычислите концентрацию ионов  $\text{H}^+$  в этом растворе.

11. Составьте схему и вычислите ЭДС гальванического элемента, если он состоит из следующих металлов, погруженных в растворы собственных солей с концентрациями ионов, моль/л:





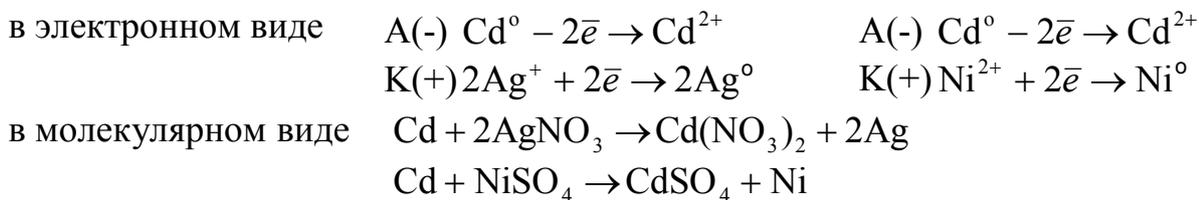
ж) Ag и Cd;  $C_{Ag^+} = 0,1$ ;  $C_{Cd^{2+}} = 0,001$ .

### Высший уровень Примеры решения задач

1. Увеличится, уменьшится или останется без изменения масса кадмиевой пластинки при взаимодействии ее с растворами: а)  $AgNO_3$ ; б)  $ZnSO_4$ ; в)  $NiSO_4$ ? Почему? Составьте электронные и молекулярные уравнения соответствующих реакций.

*Решение:*

Если металл, входящий в состав растворенной соли, находится ниже Cd в ряду напряжения металлов, то он будет осаждаться на Cd. Сама кадмиевая пластинка при этом будет растворяться. Подобные процессы происходят при погружении Cd в растворы  $AgNO_3$  и  $NiSO_4$ . Уравнения реакций:



В первом случае при переходе в раствор 1 г-атома Cd и осаждении 2г-атомов Ag масса пластинки увеличивается на

$$\Delta m = -112 + 2 \cdot 108 = 104 \text{ г} .$$

Во втором случае масса пластинки будет уменьшаться на

$$\Delta m = -112 + 59 = -53 \text{ г} .$$

При погружении кадмиевой пластинки в раствор  $NiSO_4$  масса пластинки не меняется, так как электрохимические реакции невозможны.

2. Марганцевый электрод в растворе его соли имеет потенциал -1,23 В. Вычислите концентрацию ионов  $Mn^{2+}$

<p><i>Дано:</i></p> $\frac{E_{Mn} = -1,23 \text{ В}}{C_{Mn^{2+}} - ?}$	<p><i>Решение:</i></p> <p>По уравнению Нернста</p> $E = E^0 + \frac{0,058}{n} \lg C \text{ или } -1,23 = -1,18 + \frac{0,058}{2} \lg C$
--	---



$$\lg C = \frac{(-1,23 + 1,18) \cdot 2}{0,058} = -1,72;$$

Отсюда

$$C = 10^{-1,72} = 1,9 \cdot 10^{-2} \text{ моль/л}$$

Ответ:  $1,9 \cdot 10^{-2}$  моль/л

3. Вычислите потенциал водородного электрода, погруженного в раствор с  $\text{pH}=3,5$ .

*Дано:*  
 $\text{pH}=3,5$   
 Электрод  $\text{Pt}(\text{H}_2)/\text{H}^+$   
 $E_{\text{H}} - ?$

*Решение*  
 Потенциал водородного электрода определяем по уравнению Нернста

$$E = E_{\text{H}}^0 + 0,058 \cdot \lg C_{\text{H}^+} = 0 + 0,058 \cdot \lg 10^{-3,5}$$

$$= -3,5 \cdot 0,058 = -0,203 \text{ В}$$

$$C_{\text{H}^+} = 10^{-\text{pH}} = 10^{-3,5} \text{ моль/л}$$

Ответ: -0,203 В

4. Составьте схему, напишите электронные уравнения электродных процессов и вычислите ЭДС гальванического элемента, состоящего из свинцовой и магниевой пластин, опущенных в растворы своих солей с концентрацией ионов 0,1 моль/л. Изменится ли ЭДС этого элемента, если концентрацию каждого из ионов увеличить до 1 моль/л?

*Дано:*  
 $C_{1\text{Pb}^{2+}} = C_{1\text{Mg}^{2+}} = 0,1 \text{ моль/л}$

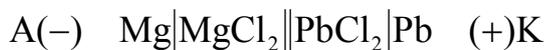
$C_{2\text{Pb}^{2+}} = C_{2\text{Mg}^{2+}} = 1 \text{ моль/л}$

ЭДС<sub>1</sub>-?

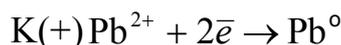
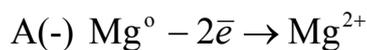
ЭДС<sub>2</sub>-?

*Решение:*

Схема гальванического элемента



Электронные уравнения



Расчет ЭДС

$$\text{ЭДС} = E_{\text{к}} - E_{\text{а}} = E_{\text{Pb}} - E_{\text{Mg}}$$

$$E_{1\text{Pb}} = E_{\text{Pb}}^0 + \frac{0,058}{2} \lg 10^{-1}$$



$$E_{1Mg} = E_{Mg}^0 + \frac{0,058}{2} \lg 10^{-1}$$

Отсюда

$$\begin{aligned} \text{ЭДС}_1 &= (E_{Pb}^0 + \frac{0,058}{2} \lg 10^{-1}) - (E_{Mg}^0 + \frac{0,058}{2} \lg 10^{-1}) = \\ &= E_{Pb} - E_{Mg} = -0,13 - (-2,36) = 2,23 \text{ В} \end{aligned}$$

Если концентрация металло-ионов изменится, то ЭДС останется прежней, так как она представляет разность стандартных потенциалов электродов. При изменении концентрации ионов металлов в растворе изменение ЭДС возможно в случае, если ионы металлов имеют разный заряд.

Ответ: 2,23 В; 2,23 В.

5. Составьте схему, напишите электронные уравнения электродных процессов и вычислите ЭДС гальванического элемента, состоящего из серебряных электродов, опущенных: первый в 0,01 н, а во второй в 0,1 н растворы  $\text{AgNO}_3$ .

Дано:

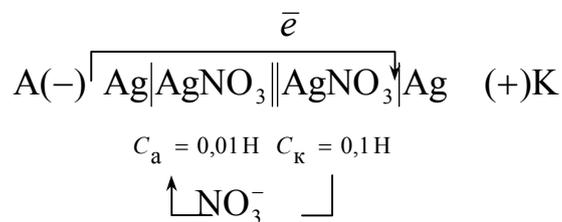
$$C_a = 0,01 \text{ Н}$$

$$C_k = 0,1 \text{ Н}$$

$$\text{ЭДС} - ?$$

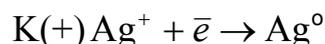
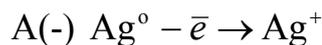
Решение:

Схема серебряного концентрационного элемента может быть следующей



Должно соблюдаться условие: электролиты в анодном и катодном пространстве должны являться растворимой солью, в рассматриваемом случае  $\text{AgNO}_3$ .

Электронные уравнения электродных реакций:



Расчет ЭДС концентрационного элемента



$$\text{ЭДС} = \frac{0,058}{n} \lg \frac{C_{\text{к}}}{C_{\text{а}}} = 0,058 \lg \frac{10^{-1}}{10^{-2}} = 0,058$$

Ответ 0,058 В

### Задачи для самостоятельного решения

1. В два сосуда с голубым раствором медного купороса поместили: в первый цинковую пластинку, а во второй – серебряную. В каком случае цвет раствора постепенно пропадает? Почему? Составьте электронные и молекулярные уравнения соответствующих реакций.

2. Потенциал серебряного электрода в растворе  $\text{AgNO}_3$  составил 95 % от значения его стандартного электродного потенциала. Чему равна концентрация ионов  $\text{Ag}^+$ ?

3. Вычислите потенциал водородного электрода, погруженного в раствор с  $\text{pH}=10,7$

4. Составьте схему, напишите электронные уравнения электродных процессов и вычислите ЭДС гальванического элемента, состоящего из свинцовой и магниевой пластин, опущенных в растворы своих солей с концентрациями  $C_{\text{Pb}^{2+}} = C_{\text{Mg}^{2+}} = 0,01$  моль/л. Изменится ли ЭДС этого элемента, если концентрацию каждого из ионов увеличить в одинаковое число раз?

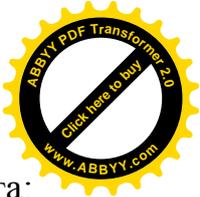
5. Составьте схему, напишите электронные уравнения электродных процессов и вычислите ЭДС гальванического элемента, состоящего из пластин  $\text{Cd}$  и  $\text{Mg}$ , опущенных в растворы своих солей с концентрацией  $C_{\text{Mg}^{2+}} = C_{\text{Cd}^{2+}} = 1$  моль/л. Изменится ли значение ЭДС, если концентрацию каждого из ионов понизить до 0,01 моль/л.

6. Составьте схему, напишите уравнения электродных процессов и рассчитайте ЭДС элемента, состоящего из  $\text{Ag}$  и  $\text{Pb}$  пластин, опущенных в растворы солей с  $C_{\text{Ag}^+} = C_{\text{Pb}^{2+}} = 0,5$  моль/л. Изменится ли ЭДС, если концентрация ионов  $\text{Ag}^+$  и  $\text{Pb}^{2+}$  уменьшится в 10 раз.

7. Составьте схему, напишите электронные уравнения электродных процессов и вычислите ЭДС гальванического элемента, состоящего из  $\text{Cu}$  и  $\text{Cd}$ , опущенных в растворы своих солей, если  $C_{\text{Cu}^{2+}} = C_{\text{Cd}^{2+}} = 0,1$  моль/л. Изменится ли ЭДС, если изменить температуру растворов на 10 К?

8. Составьте схему концентрационного серебряного элемента при концентрации ионов серебра в электролитах  $10^{-1}$  и  $10^{-4}$  моль/л. Укажите какой из электродов будет анодом, какой – катодом. Рассчитайте ЭДС элемента.

9. Составьте схему концентрационного цинкового элемента при концентрации ионов цинка в электролитах  $10^{-2}$  и  $10^{-3}$  моль/л. Укажите какой из электродов будет анодом, какой – катодом. Рассчитайте ЭДС элемента.



10. Определите ЭДС гальванического элемента:  
 $A(-) Ag|AgNO_3(0,001M)||AgNO_3(0,1M)|Ag (+)K$ . В каком направлении будут перемещаться электроны во внешней цепи при работе этого элемента?

11. Гальванический элемент состоит из серебряного электрода, погруженного в 1 М раствор  $AgNO_3$ , и стандартного водородного электрода. Напишите уравнения электродных процессов и суммарной реакции, происходящей при работе элемента. Чему равна его ЭДС?

12. ЭДС элемента, состоящего из медного и свинцового электродов, погруженных в 1 М растворы солей этих металлов, равна 0,47 В. Изменится ли ЭДС, если взять 0,01 М растворы. Ответ обосновать.

13. Чему равен потенциал водородного электрода при  $pH=10$ : а) -0,59 В; б) -0,30 В; в) 0,30 В; г) 0,59 В?

### Творческий уровень Задачи для самостоятельного решения

1. Составьте схемы двух гальванических элементов, в одном из которых медь служила бы катодом, а в другом – анодом. Напишите уравнения реакций, происходящих при работе этих элементов, и вычислите значения стандартных ЭДС.

2. ЭДС гальванического элемента, состоящего из стандартного водородного электрода и свинцового электрода, погруженного в 1 М раствор соли свинца, равна 126 мВ. При замыкании элемента электроны во внешней цепи перемещаются от свинцового электрода к водородному. Чему равен потенциал свинцового электрода? Составьте схему элемента. Какие процессы протекают на его электродах?

3. Гальванический элемент составлен из стандартного цинкового электрода и хромового электрода, погруженного в раствор, содержащий ионы  $Cr^{3+}$ . При какой концентрации ионов  $Cr^{3+}$  ЭДС этого элемента будет равна нулю?

4. Гальванический элемент состоит из стандартного водородного электрода, погруженного в раствор с  $pH=12$ . На каком электроде водород будет окисляться при работе элемента, а на каком – восстанавливаться? Рассчитайте ЭДС элемента.

5. Составьте схемы двух гальванических элементов, в одном из которых Cd является анодом, а в другом – катодом. Напишите уравнения электродных процессов и вычислите ЭДС каждого элемента.

6. Составьте схему гальванического элемента, состоящего из Zn и Sn, погруженных в растворы их солей. Напишите электронные уравнения процессов, протекающих на аноде и катоде. Какой должна быть концентрация ионов олова, чтобы ЭДС элемента стала равной нулю, если  $C_{Zn^{2+}} = 0,001$  моль/л?



7. Вычислите ЭДС концентрационного элемента, состоящего из железных электродов, опущенных в растворы своих солей с концентрациями  $10^{-1}$  и  $10^{-4}$  моль/л. Укажите анод и катод. Приведите возможную схему данного элемента.

8. На сколько изменится потенциал цинкового электрода, если раствор соли цинка, в который он погружен, разбавить в 10 раз: а) возрастет на 59 мВ; б) уменьшится на 59 мВ; в) возрастет на 30 мВ; г) уменьшится на 30 мВ.

9. Имеется гальванический элемент  $\text{Pb} | \text{Pb}^{2+} || \text{Ag}^+ | \text{Ag}$ . Как изменится его ЭДС, если в раствор, содержащий ионы свинца, добавить сероводород: а) увеличится; б) уменьшится; в) останется неизменной? Ответ обоснуйте.

10. Каким из предлагаемых способов можно увеличить ЭДС гальванического элемента  $\text{Pt}(\text{H}_2) | \text{HCl} || \text{HCl} | (\text{H}_2) \text{Pt}$ : а) уменьшить концентрацию HCl у катода; б) уменьшить концентрацию HCl у анода; в) увеличить концентрацию HCl у катода; г) увеличить концентрацию HCl у анода?

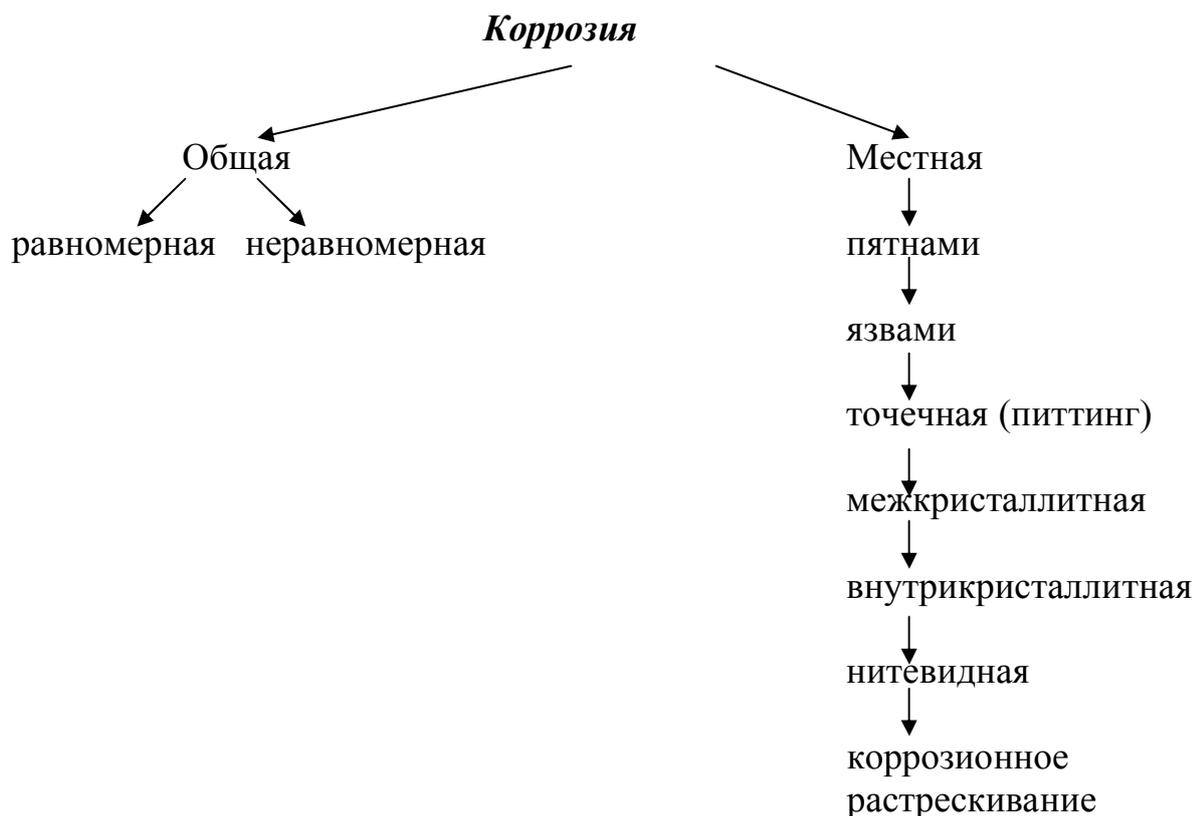


## Тема №7 «КОРРОЗИЯ МЕТАЛЛОВ»

### Теоретическая часть

**Коррозия**- это процесс разрушения металлов вследствие химического или электрохимического взаимодействия их с окружающей средой.

### Классификация коррозионных процессов по виду поражений



### Классификация коррозии по механизму протекания



**Химическая коррозия**- это коррозия в отсутствие электролита, протекающая при высоких температурах. По условиям протекания химическая коррозия делится на газовую и в среде неэлектролита.

**Газовая коррозия** возникает в газах при высоких температурах в отсутствие влаги.

**Коррозия в среде неэлектролита** протекает в органических маслах, нефтяных маслах, горячей среде, среде бромной воды.

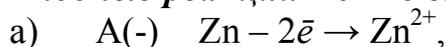


**Электрохимическая коррозия** - это коррозия в среде электролита, сопровождающаяся образованием микрогальванических пар и появлением электрического тока. По условиям протекания электрохимическая коррозия делится на атмосферную, при различном доступе кислорода, контактную, почвенную, морскую, фреттинг (совместное действие сил трения и агрессивной среды), кавитацию (ударное воздействие коррозионной среды, разрушающее защитные пленки на металле), электрокоррозию под действием блуждающих токов.

**Контактная коррозия** возникает при контакте двух или более металлов друг с другом в среде электролита. Используя ряд напряжений металлов, определяем, что является анодом. Например, а) Fe | Zn(A); б) Fe(A) | Sn; в) Fe(A) | Cu.

Используя ряд напряжений металлов, определяем, что является анодом.

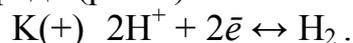
**Анодные реакции** можно записать следующим образом



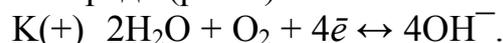
Так как разность потенциалов больше в случае контакта железа с медью, то коррозия железа в этом случае протекает быстрее.

**Катодные процессы** представляют собой восстановление частиц коррозионной среды.

В кислой среде ( $pH < 7$ )



В нейтральной среде ( $pH = 7$ )



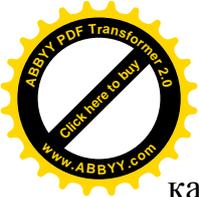
В щелочной среде ( $pH > 7$ ) катодная полуреакция тормозится, так как уже в нейтральной среде образуются  $OH^-$  - ионы. Таким образом, продуктами коррозии будут соль более активного металла (в кислой среде) и гидроксид (в нейтральной среде).

Контактная коррозия протекает, например, при нарушении целостности защитного металлического покрытия. Защитные металлические покрытия можно разделить на два вида анодные и катодные.

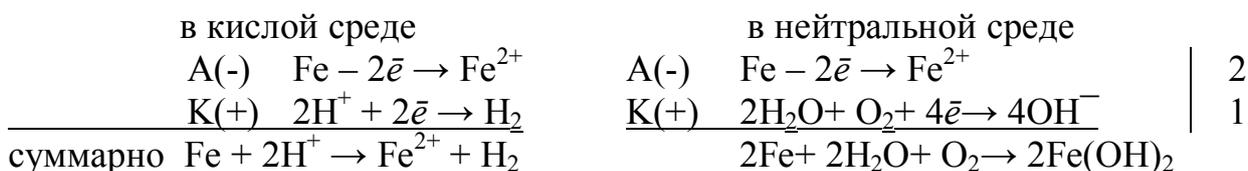
**Анодные покрытия**, при которых верхний слой металла является более активным (анодом) по отношению к защищаемому металлу. Например, алитированное, оцинкованное или хромированное железо.

**Катодные покрытия**, при которых верхний слой металла является менее активным (катодом) по отношению к защищаемому металлу. Например, кадмированное, никелированное, луженое, освинцованное, медненное железо.

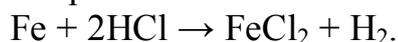
Рассмотрим коррозионные процессы, протекающие при нарушении целостности защитного никелевого покрытия на стали (основной компонент - железо). Покрытие относится к катодным, так как никель имеет более положительный стандартный потенциал, чем железо, то есть является



катодом данной контактной пары. Корродирует более активный металл-железо. Коррозионные процессы:



В случае, если кислая среда обусловлена присутствием HCl общая реакция запишется следующим образом



Как метод электрозащиты металлов от коррозии используют протекторы. **Протектор**- это более активный металл, к которому присоединяют защищаемый металл, в результате чего протектор растворяется, так как он является анодом. После полного его растворения протектор заменяют. Защищаемый металл становится катодом. В качестве протектора используют Mg, Zn и их сплавы.

### Начальный уровень

#### Примеры решения задач

1. Назовите несколько металлов, которые могут служить для анодной и катодной защиты свинца. Укажите корродирующий металл и продукт коррозии в нейтральной среде и кислой среде HCl.

*Ответ:* Анодные покрытия изготавливаются из более активного металла. По отношению к свинцу это могут быть Al, Cr, Zn, Ni. На их поверхности присутствует защитный оксидный слой. При нарушении целостности покрытия окисляется металл покрытия, например, Zn или Cr. Продуктом коррозии в нейтральной среде будет гидроксид металла анодного покрытия, например, Zn(OH)<sub>2</sub> или Cr(OH)<sub>3</sub>. Продуктом коррозии в кислой среде является соль металла анодного покрытия, для среды HCl: ZnCl<sub>2</sub> или CrCl<sub>3</sub>.

Катодные покрытия изготавливаются из менее активного металла. По отношению к свинцу это, например, может быть медь. При нарушении целостности покрытия корродирует защищаемый металл Pb. Продуктом коррозии в нейтральной среде является гидроксид Pb(OH)<sub>2</sub>. продуктом коррозии в кислой среде является соль PbCl<sub>2</sub>.

2. В контакте находятся металлы Cr и Fe; Cd и Fe; Ni и Fe. В каком случае корродирует железо? В каком случае коррозия протекает более интенсивно и почему? Какой это тип коррозии?



*Ответ:* Согласно расположению металлов в ряду напряжений распределение полюсов в рассматриваемых контактных парах будет следующим



Таким образом, коррозия железа протекает при его контакте с Ni или Cd, когда Fe является анодом. В первом случае корродирует Cr.

Коррозия протекает более интенсивно, когда ЭДС корродирующей пары больше. ЭДС рассчитывается по разности стандартных потенциалов металлов

$$\text{ЭДС}_{\text{Cr}|\text{Fe}} = E_{\text{K}}^0 - E_{\text{A}}^0 = E_{\text{Fe}}^0 - E_{\text{Cr}}^0 = -0,44 - (-0,744) = 0,304 \text{ В};$$

$$\text{ЭДС}_{\text{Fe}|\text{Cd}} = E_{\text{Cd}}^0 - E_{\text{Fe}}^0 = -0,4 - (-0,44) = 0,04 \text{ В};$$

$$\text{ЭДС}_{\text{Fe}|\text{Ni}} = E_{\text{Ni}}^0 - E_{\text{Fe}}^0 = -0,25 - (-0,44) = 0,19 \text{ В}.$$

Наиболее интенсивно коррозия протекает в контактной паре Cr | Fe.

Рассматриваемый тип коррозии относится к контактной коррозии.

3. Какой металл целесообразнее выбрать для протекторной защиты от коррозии свинцовой оболочки кабеля: цинк, магний или хром? Почему?

*Ответ:* Zn, Mg и Cr могут использоваться в качестве протекторов для защиты Pb, так как они являются более активными металлами. Электрозащита Pb будет тем эффективнее, чем больше ЭДС контактной пары металлов.

Рассчитаем ЭДС гальванических пар.

$$\text{ЭДС}_{\text{Zn}|\text{Pb}} = E_{\text{Pb}}^0 - E_{\text{Zn}}^0 = -0,13 - (-0,76) = 0,63 \text{ В};$$

$$\text{ЭДС}_{\text{Mg}|\text{Pb}} = E_{\text{Pb}}^0 - E_{\text{Mg}}^0 = -0,13 - (-2,36) = 2,23 \text{ В};$$

$$\text{ЭДС}_{\text{Cr}|\text{Pb}} = E_{\text{Pb}}^0 - E_{\text{Cr}}^0 = -0,13 - (-0,74) = 0,61 \text{ В}.$$

Наиболее эффективная протекторная защита при использовании протектора Mg. Недостатком является быстрое растворение Mg и необходимость частой его замены.

### Задачи для самостоятельного решения

1. Назовите несколько металлов, которые могут служить для анодного и катодного покрытия.

- а) железа;
- б) кадмия;
- в) никеля;
- г) олова.

Какие продукты коррозии образуются в кислой и нейтральной средах?



2. В контакте находятся металлы:

- а) Mn и Ni; Fe и Ni; Cu и Ni
- б) Fe и Cu; Sn и Cu; Ag и Cu;
- в) Cr и Fe; Fe и Ni; Sn и Cu.

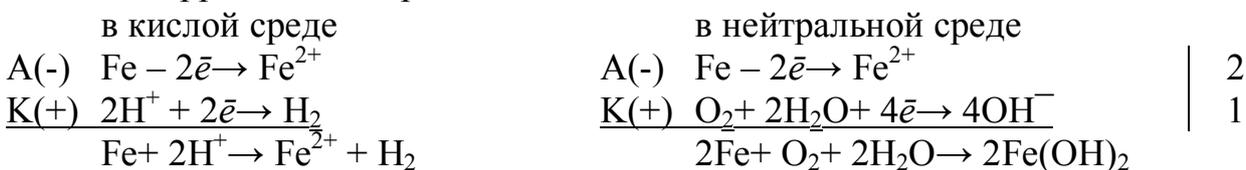
В каком случае коррозия протекает более интенсивно и почему? Какой это тип коррозии? Какие продукты коррозии образуются в кислой и нейтральной средах?

3. Какой металл целесообразнее выбрать для протекторной защиты от коррозии стали (основной компонент железа): цинк, алюминий, магний или марганец? Почему? Каков состав продуктов коррозии в кислой и нейтральной средах?

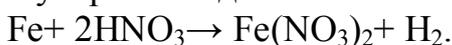
### Средний уровень Примеры решения задач

1. Железное изделие никелировано. Какое это покрытие анодное или катодное? Ответ мотивируйте. Рассмотрите процессы коррозии данной гальванической пары при нарушении целостности защитного слоя в нейтральной среде и в среде кислоты  $\text{HNO}_3$ .

*Ответ:* Согласно расположению металлов в ряду напряжений в данной гальванической паре Fe будет анодом, а Ni – катодом. Покрытие катодное. При нарушении целостности защитного Ni – покрытия будет корродировать железо. Коррозионные процессы:

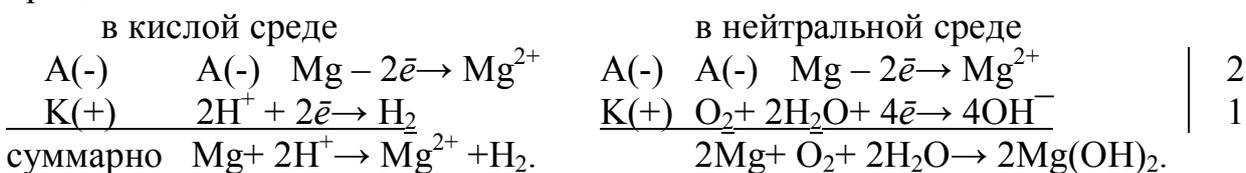


в молекулярном виде



2. Напишите уравнения реакций, которые будут протекать при защите оловянного изделия протектором из магния в кислой и нейтральной почве.

*Ответ:* Магний расположен в ряду напряжений металлов ранее олова, он более активен электрохимически, поэтому может использоваться как протектор. При осуществлении защиты протекают следующие электродные процессы:





## Задачи для самостоятельного решения

1. Железное изделие кадмировано. Какое это покрытие анодное или катодное? Почему? Напишите уравнения реакций, протекающих при нарушении покрытия на анодных и на катодных участках в нейтральной и кислой средах.

2. Оловянное изделие покрыто слоем железа. Какое это покрытие катодное или анодное? Ответ мотивируйте. Напишите уравнения реакций коррозии при нарушении покрытия в кислой и нейтральной средах.

3. В контакте с каким металлом – медью или алюминием – будет корродировать железо во влажном воздухе? Составьте уравнения анодного и катодного процессов.

4. Как происходит атмосферная коррозия луженого и оцинкованного железа при нарушении покрытия. Составьте электронные уравнения анодного и катодного процессов.

5. Как происходит атмосферная коррозия луженого железа и луженой меди при нарушении покрытия? Составьте электронные уравнения анодного и катодного процессов.

6. Железное изделие покрыли никелем. Какое это покрытие – анодное или катодное? Почему? Составьте электронные уравнения анодного и катодного процессов коррозии этого изделия при нарушении покрытия во влажном воздухе и в соляной кислоте. Какие продукты коррозии образуются в первом и во втором случаях?

7. Назовите несколько металлов, которые могут служить для анодного и катодного процессов, происходящих при коррозии железа, покрытого медью, во влажном воздухе и в кислой среде.

8. Железное изделие покрыли свинцом. Какое это покрытие – анодное или катодное? Почему? Составьте электронные уравнения анодного и катодного процессов коррозии этого изделия при нарушении покрытия во влажном воздухе и в соляной кислоте. Какие продукты коррозии образуются в первом и во втором случаях?

9. Какой металл целесообразнее выбрать для протекторной защиты от коррозии свинцовой оболочки кабеля: цинк, магний или хром? Почему? Составьте электронные уравнения анодного и катодного процессов атмосферной коррозии. Какой состав продуктов коррозии?

10. В чем сущность протекторной защиты металлов от коррозии? Приведите пример протекторной защиты железа в электролите, содержащем растворенный кислород. Составьте электронные уравнения анодного и катодного процессов.

11. Как протекает атмосферная коррозия железа, покрытого слоем никеля, если покрытие нарушено? Составьте электронные уравнения анодного и катодного процессов. Каков состав продуктов коррозии?



12. Напишите уравнения реакций, которые будут протекать при защите железной конструкции протектором из магния в кислой и нейтральной среде.

13. Напишите уравнения реакций, которые будут протекать при защите свинцового изделия протектором из цинка в кислой и нейтральной почве.

14. Напишите уравнения реакций, которые будут протекать при защите никелевой конструкции протектором из цинка в кислой и нейтральной почве.

15. Напишите уравнения реакций, которые будут протекать при защите свинцового изделия протектором из магния в кислой и нейтральной среде.

### Высший уровень Примеры решения задач

1. В контакте находятся металлы: Mn и Ni; Fe и Ni; Cu и Ni. В каком случае коррозия протекает более интенсивно и почему? Какой это тип коррозии? Напишите уравнения коррозии в нейтральной и кислой среде.

*Ответ:* Более интенсивно коррозия протекает при большей величине ЭДС гальванической пары. Расчет ЭДС гальванических пар.

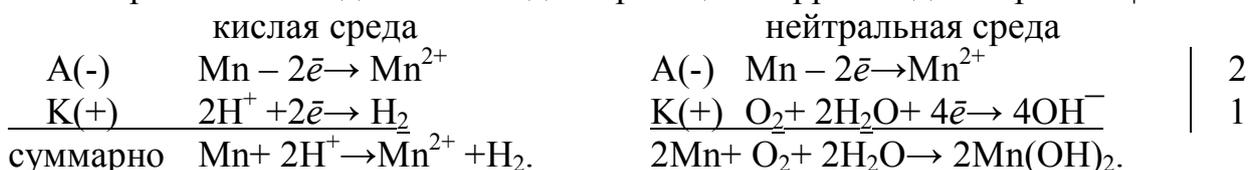
$$\text{ЭДС}_{\text{Mn}|\text{Ni}} = E^0_{\text{Ni}} - E^0_{\text{Mn}} = -0,25 - (-1,18) = 0,93 \text{ В};$$

$$\text{ЭДС}_{\text{Fe}|\text{Ni}} = E^0_{\text{Ni}} - E^0_{\text{Fe}} = -0,25 - (-0,44) = 0,19 \text{ В};$$

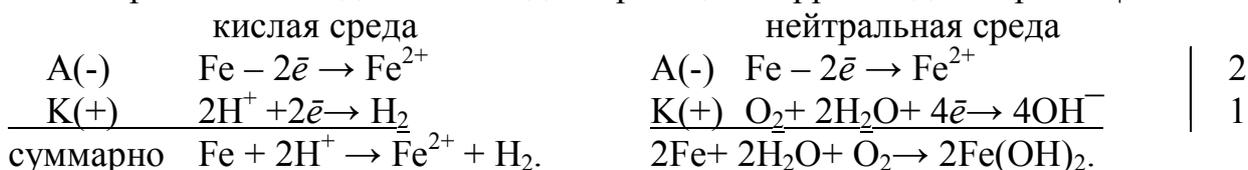
$$\text{ЭДС}_{\text{Ni}|\text{Cu}} = E^0_{\text{Cu}} - E^0_{\text{Ni}} = 0,34 - (-0,25) = 0,59 \text{ В}.$$

Коррозия марганца протекает интенсивнее, чем коррозия Fe и Ni в двух других гальванопарах.

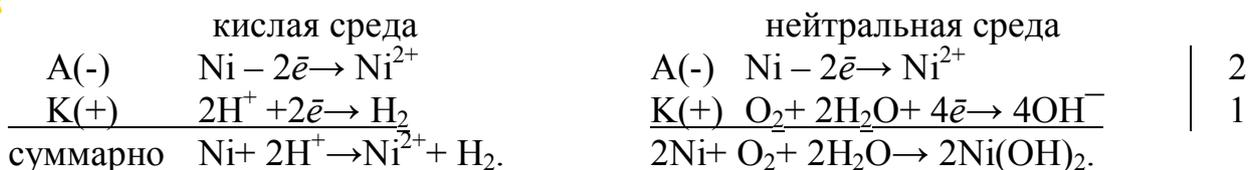
Уравнения анодной и катодной реакции коррозии для пары Mn | Ni:



Уравнения анодной и катодной реакции коррозии для пары Fe | Ni:



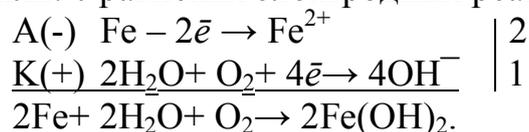
Уравнения анодной и катодной реакции коррозии для пары Cu | Ni:



Рассматриваемый случай коррозии относится к контактной коррозии.

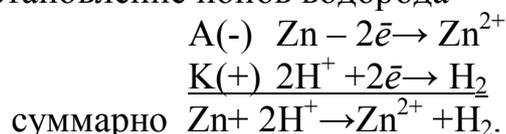
2. Если на стальной предмет нанести каплю воды, то коррозии подвергается средняя, а не внешняя часть смоченного металла. После высыхания капли в ее центре появляется пятно ржавчины. Чем это объясняется? Какой участок металла, находящийся под каплей воды, является анодным и какой катодным? Составьте электронные уравнения соответствующих процессов.

*Ответ:* Капля воды растекается по поверхности металла. Так как ее толщина по внешней части меньше, чем в центре, то кислороду легче подойти к поверхности металла именно здесь и разрядиться. Катодный участок располагается по периметру капли, а анодный – в центре. Коррозия железа начинается в центре капли. Уравнения электродных реакций



3. В раствор соляной кислоты поместили цинковую пластинку, частично покрытую медью. В каком случае процесс коррозии цинка происходит интенсивнее? Ответ мотивируйте, составив электронные уравнения соответствующих процессов.

*Ответ:* На цинковой пластинке протекают две реакции: окисление цинка и восстановление ионов водорода



Если цинковая пластинка частично покрыта медью, то на цинке создается дополнительная анодная поляризация. Растворение цинка в этом случае протекает интенсивнее. Выделение водорода преимущественно происходит на меди – катодном участке. Электродные реакции остаются теми же.

### Задачи для самостоятельного решения

1. В контакте находятся металлы: Cr и Fe; Cd и Fe; Ni и Fe. В каком случае коррозия протекает более интенсивно и почему? Какой это тип коррозии? Напишите уравнения реакций коррозии для нейтральной и кислой среды.

2. В контакте находятся металлы: Mn и Fe; Cr и Fe; Cu и Sn. В каком случае коррозия протекает более интенсивно и почему? Какой это тип



коррозии? Напишите уравнения реакций коррозии для кислой и нейтральной среды.

3. В контакте находятся металлы: Fe и Cu; Sn и Cu; Ag и Cu. В каком случае коррозия протекает более интенсивно и почему? Какой это тип коррозии? Напишите уравнения реакций коррозии для кислой и нейтральной среды.

4. Составьте электронные уравнения анодного и катодного процессов с кислородной и водородной деполяризацией при коррозии пары Al – Fe. Какие продукты коррозии образуются в первом и во втором случаях?

5. Две железные пластинки, частично покрытые одна оловом, другая медью, находятся во влажном воздухе. На какой из этих пластинок быстрее образуется ржавчина? Почему? Составьте электронные уравнения анодного и катодного процессов коррозии этих пластинок. Какой состав продуктов коррозии железа?

6. Если опустить в разбавленную серную кислоту пластинку из чистого железа, то выделение на ней водорода идет медленно и со временем почти прекращается. Однако, если цинковой палочкой прикоснуться к железной пластинке, то на последней начинается бурное выделение водорода. Почему? Какой металл при этом растворяется? Составьте электронные уравнения анодного и катодного процессов.

7. Составьте электронные уравнения анодного и катодного процессов с кислородной и водородной деполяризацией при коррозии пары Mg – Ni. Какие продукты коррозии образуются в первом и во втором случаях?

8. Медь не вытесняет водород из разбавленных кислот. Почему? Однако, если к медной пластинке, опущенной в кислоту, прикоснуться цинковой палочкой, то на меди начинается бурное выделение водорода. Почему? Составьте электронные уравнения анодного и катодного процессов. Напишите уравнение протекающей химической реакции.

9. Если пластинку из чистого Zn опустить в разбавленную кислоту, то начинающееся выделение водорода вскоре почти прекращается. Однако при прикосновении к цинку медной палочкой на последней начинается бурное выделение водорода. Почему? Составьте электронные уравнения анодного и катодного процессов. Напишите уравнение протекающей химической реакции.

10. Если гвоздь вбить во влажное дерево, то ржавчиной покрывается та его часть, которая находится внутри дерева. Чем это можно объяснить? Анодом или катодом является эта часть гвоздя? Составьте электронные уравнения соответствующих процессов.

11. Одну железную пластинку покрыли оловом, а другую – свинцом. В каком случае железо во влажном воздухе будет корродировать быстрее при повреждении покрытий? Составьте уравнения анодного и катодного процессов. Назовите продукты коррозии.



12. Два металла, находящиеся в контакте между собой, помещены в агрессивную среду. Составьте уравнения электродных реакций, протекающих при коррозии этих металлов в кислой среде и в атмосфере влажного воздуха, если металлами являются:

- а) Cu и Ag;
- б) Al и Fe;
- в) Al и Au;
- г) Sn и Fe;
- д) Zn и Mg.

### **Творческий уровень** **Задачи для самостоятельного решения**

1. Почему химически чистое железо более стойко против коррозии, чем техническое железо? Составьте электронные уравнения анодного и катодного процессов, происходящих при коррозии технического железа во влажном воздухе и в кислой среде.

2. Как влияет pH среды на скорость коррозии железа и цинка? Почему? Составьте электронные уравнения анодного и катодного процессов атмосферной коррозии этих металлов.

3. Какой металл может служить химическим протектором при защите железа от коррозии во влажном воздухе? Составьте уравнения анодного и катодного процессов.

4. Напишите уравнения реакций, которые будут протекать, если сплав железа с углеродом поместить в кислую или нейтральную среду.

5. Предложить варианты катодного покрытия для марганца. Напишите уравнения анодного и катодного процессов при коррозии.

6. Предложите варианты анодного покрытия для свинца. Напишите уравнения анодного и катодного процессов при коррозии в кислой и нейтральной среде.

7. Если стальную трубу закопать в однородный по составу грунт под наклоном, то коррозия начнется с конца трубы, находящегося на большей глубине. Почему? Составьте электронные уравнения анодного и катодного процессов коррозии в кислой и нейтральной среде.

8. Кабель, имеющий свинцовую оболочку, проходит в грунте параллельно поверхности. Грунт неоднородный, песок сменяется глинистым пластом. В каком месте кабеля начнется коррозия и почему? Напишите уравнения анодного и катодного процессов коррозии в кислой и нейтральной среде.



## Тема №8 «ЭЛЕКТРОЛИЗ СОЛЕЙ»

### Теоретическая часть

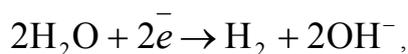
**Электролиз** – это совокупность процессов, протекающих при прохождении постоянного электрического тока через раствор или расплав электролита, в который опущены два электрода.

Сущность электролиза заключается в том, что к отрицательному электроду (катоде) перемещаются положительные ионы, а к положительному электроду (аноду) – отрицательные ионы и разряжаются на них. На аноде протекает реакция окисления, а на катоде – восстановления.

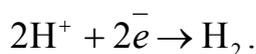
Анод при электролизе может быть растворимым и нерастворимым. Растворимый анод изготавливается из металла. Нерастворимый (инертный) анод может быть угольным, графитовым или платиновым.

### *Очередность разрядки ионов по электродам*

**Катодные процессы.** Очередность процессов восстановления зависит от потенциала металла. Если  $E^\circ_{\text{Me}} < E^\circ_{\text{Al}}$ , то в первую очередь происходит восстановление ионов  $\text{H}^+$  воды. В нейтральной и щелочной средах на катоде протекает реакция



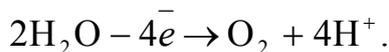
в кислой среде



Если  $E^\circ_{\text{Me}} > E^\circ_{\text{Al}}$ , то идет восстановление ионов металла соли.

**Анодные процессы.** В случае инертного анода очередность реакций окисления зависит от вида аниона. Если кислотный остаток не содержит кислород, то он окисляется в первую очередь. К подобным анионам относятся  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{I}^-$ ,  $\text{S}^{2-}$ , за исключением  $\text{F}^-$ .

Если анион кислородосодержащий ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ) то в первую очередь разряжаются ионы  $\text{OH}^-$  из воды по уравнению



В случае растворимого анода наблюдается активное растворение металла, из которого изготовлен электрод.

### *Законы Фарадея*

С количественной стороны процесс электролиза был изучен М.Фарадеем в 30-х годах XIX века. В результате своих исследований Фарадей установил два закона.



**Первый закон Фарадея:** масса образующегося при электролизе вещества пропорциональна количеству прошедшего через систему электричества и химическим эквивалентам веществ

$$m = \frac{A \cdot I \cdot t}{n \cdot F} = \frac{\mathcal{E} \cdot A \cdot I}{96500},$$

где  $m$  – масса вещества, г;

$I$  – сила тока, А;

$t$  – время, с;

$\mathcal{E}$  – химический эквивалент вещества ( $A/n$ );

96500 Кл =  $F$  – число Фарадея.

Если выход по току (ВТ) менее 100 %, то формула дополняется

$$m = \frac{\mathcal{E} \cdot I \cdot t \cdot z}{96500},$$

где  $z$  – ВТ, выраженный в долях от единицы.

**Второй закон Фарадея:** массы веществ, выделившихся на электродах, прямопропорциональны их эквивалентам

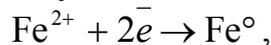
$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{\mathcal{E}_1}{\mathcal{E}_2}.$$

### Начальный уровень Примеры решения задач

1. Какие продукты образуются при электролизе водного раствора сульфата железа (II)? Напишите уравнения реакций, протекающих на графитовых электродах.

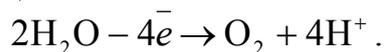
*Решение:* При диссоциации соли  $\text{FeSO}_4$  образуются ионы  $\text{Fe}^{2+}$  и  $\text{SO}_4^{2-}$ .

Ионы  $\text{Fe}^{2+}$  притягиваются к катоду и восстанавливаются на нем по реакции



так как  $E^{\circ}_{\text{Fe}}(-0,44) > E^{\circ}_{\text{Al}}(-1,66\text{В})$ .

На аноде происходит окисление кислорода воды, так как ион  $\text{SO}_4^{2-}$  является кислородсодержащим и его окисление затруднено

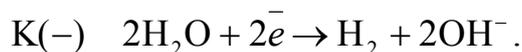


Ионы  $\text{SO}_4^{2-}$  в кислой среде прианодного пространства образуют серную кислоту.



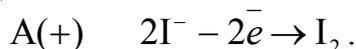
2. Какие продукты образуются при электролизе водного раствора йодида натрия? Напишите уравнения реакций, протекающих на графитовых электродах.

*Решение:* Диссоциация соли NaI приводит к образованию ионов  $\text{Na}^+$  и  $\text{I}^-$ . Катодной реакцией будет восстановление ионов водорода воды, так как ионы  $\text{Na}^+$  не могут восстанавливаться в силу того, что  $E^\circ_{\text{Na}}(-2,71 \text{ В}) < E^\circ_{\text{Al}}(-1,66 \text{ В})$ . Отсюда



Катодное пространство подщелачивается щелочью NaOH.

К аноду притягиваются  $\text{I}^-$  - ионы (бескислородные), которые и окисляются на нем по реакции



### Задачи для самостоятельного решения

1. Напишите уравнения реакций электролиза водного раствора бромида калия.

2. Напишите уравнения реакций электролиза водных растворов:

а) NaCl; б)  $\text{AlCl}_3$ ; в)  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ;

3. Раствор сульфата цинка подвергли электролизу с помощью графитовых электродов. Составьте уравнения соответствующих электродных процессов.

4. Какие процессы протекают на инертных электродах при электролизе водного раствора сульфата кадмия? Напишите уравнения соответствующих реакций.

5. Какие процессы будут происходить на электродах при электролизе водных растворов хлорида меди (II) и нитрата калия с инертными электродами?

6. Напишите уравнения электродных реакций, протекающих при электролизе водного раствора сульфата меди (II) с инертными электродами.

7. Какие реакции будут протекать на электродах при электролизе водного раствора нитрата никеля с графитовыми электродами?

8. Напишите уравнения реакций, протекающих при электролизе водных растворов йодида калия и сульфата натрия с инертными электродами.

9. Какие продукты образуются при электролизе водных растворов следующих солей с инертными электродами: а)  $\text{AgNO}_3$ ; б)  $\text{ZnSO}_4$ ; в)  $\text{AuCl}_3$ ?

10. Какие вещества можно получить при электролизе водного раствора NaCl с графитовыми электродами?

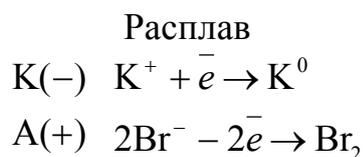
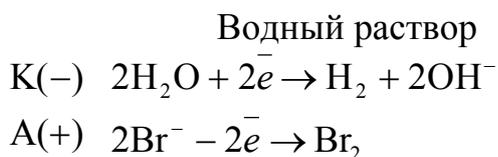
11. Составьте уравнения реакций электролиза водных растворов следующих веществ: а)  $\text{CaCl}_2$ ; б)  $\text{K}_3\text{PO}_4$ ; в)  $\text{Pt}(\text{NO}_3)_2$ . Электролиз ведется с инертными электродами.



## Средний уровень Примеры решения задач

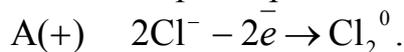
1. Напишите уравнения реакций электролиза водного раствора и расплава бромида калия.

*Решение:* Отличие в реакциях электролиза водного раствора соли KBr и ее расплава будет заключаться в протекании катодной реакции. В водном растворе будет происходить катодное восстановление ионов водорода воды, так как оно более выгодно ( $E^0_{\text{K}} < E^0_{\text{Al}}$ ). При электролизе расплава KBr конкурирующие реакции со стороны воды отсутствуют, поэтому восстанавливаются ионы калия. Анодный процесс не изменяется.

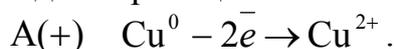


2. Составьте схему электролиза водного раствора хлорида цинка для случаев: а) анод угольный; б) анод медный.

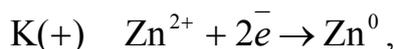
*Решение:* В случае угольного (инертного) анода анодное окисление будет заключаться в образовании хлора по реакции



При замене угольного анода на медный энергетически выгоднее окисление металлической меди по реакции



Катодная реакция не изменяется



так как  $E^0_{\text{Zn}} > E^0_{\text{Al}}$ .

3. Сколько граммов меди выделится на катоде при электролизе раствора  $\text{CuSO}_4$  в течение одного часа при силе тока 2 А?

*Решение:* Согласно первому закону Фарадея масса вещества, восстановленного или окисленного на электроде, равна

$$m = \frac{\mathcal{E} \cdot I \cdot t \cdot z}{96500} = \frac{A \cdot I \cdot t \cdot z}{n \cdot 96500},$$

где для меди  $A = 64$  г/моль;  $n = 2$ .

Отсюда

$$m = \frac{64 \cdot 2 \cdot 3600 \cdot 1}{2 \cdot 96500} = 2,37\text{г}$$



Значение выхода по току равно 100 %, то есть  $\eta = 1$ .

4. Вычислите эквивалент металла, зная, что при электролизе раствора хлорида этого металла затрачено 3880 Кл электричества и на катоде выделяется 11,742 г металла.

*Решение:* Из выражения первого закона Фарадея эквивалент вещества равен

$$\mathcal{E} = \frac{96500 \cdot m}{I \cdot t} = \frac{96500 \cdot m}{Q},$$

где  $Q$  – количество электричества.

Отсюда

$$\mathcal{E} = \frac{96500 \cdot 11,742}{3880} = 29,35 \text{ г}$$

### Задачи для самостоятельного решения

1. Составьте электронные уравнения процессов, происходящих на электродах при электролизе растворов  $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{NiSO}_4$ . В обоих случаях анод угольный.

2. Составьте электронные уравнения процессов, происходящих на электродах при электролизе раствора  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  в случае угольного анода; в случае алюминиевого анода.

3. Составьте электронные уравнения процессов, происходящих при электролизе раствора  $\text{CuCl}_2$  если анод медный; если анод угольный?

4. Составьте электронные уравнения процессов, происходящих на электродах при электролизе раствора  $\text{KCl}$ ; расплава  $\text{KCl}$ .

5. Напишите уравнения реакций электролиза водного раствора серной кислоты с инертными электродами.

6. Какие процессы будут происходить при электролизе водного раствора нитрата кобальта (II) с инертными электродами и с кобальтовым (растворимым) анодом?

7. Напишите уравнения реакций электролиза водных растворов  $\text{HCl}$  и  $\text{HNO}_3$  с инертными электродами.

8. Напишите уравнения реакций, протекающих на электродах при электролизе водного раствора  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ : а) с графитовыми электродами; б) с медными электродами.

9. Электролиз раствора нитрата серебра проводили при силе тока 2А в течение 4 ч. Сколько граммов серебра выделилось на катоде?



10. Сколько граммов железа выделится на катоде при электролизе водного раствора  $\text{FeSO}_4$ , если ток силой 600 мА пропускать в течение 2 часов через раствор. Напишите уравнения электродных процессов.

11. Сколько граммов свинца выделится при электролизе водного раствора соли  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  в течение 1,5 ч при силе тока 400 мА? Составьте электродные уравнения при условии инертных электродов.

12. Определите время прохождения через раствор  $\text{CdSO}_4$  электрического тока силой 0,4 А, за которое на катоде выделилось 3,36 г Cd. Составьте электродные уравнения при условии инертного анода.

13. При электролизе водного раствора  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$  током силой 2 А масса катода увеличилась на 8 г. Определите в течение какого времени проводили электролиз. Составьте уравнения электродных реакций с угольным анодом.

14. Сколько граммов кадмия выделится на катоде, если через водный раствор  $\text{CdSO}_4$  пропустить 3,35 А·ч электричества? Составьте электродные уравнения при условии инертного анода.

15. Сколько граммов калия выделится при электролизе расплава KF в течение 1 часа при силе тока 3000 А? Составьте электродные реакции при условии инертных электродов.

16. Сколько граммов марганца выделится на катоде при электролизе расплава соли  $\text{MnCl}_2$  в течение 3 часов при силе тока 2000 А? Составьте электродные уравнения.

17. Сколько граммов алюминия образуется на катоде при электролизе расплава  $\text{AlBr}_3$  в течение 2 ч при силе тока  $1,5 \cdot 10^3$  А? Составьте уравнения электродных процессов.

18. Сколько граммов магния выделится при электролизе расплава  $\text{MgCl}_2$  в течение 2 ч при силе тока 800 А? Составьте уравнения электродных процессов.

### Высший уровень Примеры решения задач

1. Электролиз раствора  $\text{CuSO}_4$  проводили в течение 15 мин при силе тока 2,5 А. Выделилось 0,72 г меди. Составьте электронные уравнения процессов, происходящих на электродах в случае медного и угольного анода. Вычислите выход по току.

*Решение:* Определим массу меди, выделяющейся на катоде при 100 %-ом выходе по току. Согласно первому закону Фарадея

$$m = \frac{\mathcal{E} \cdot I \cdot t \cdot z}{96500} = \frac{2,5 \cdot 15 \cdot 60 \cdot 64 \cdot 1}{2 \cdot 96500} = 0,746 \text{ г.}$$

Тогда выход по току (ВТ) будет составлять



$$\text{ВТ} = \frac{m_{\text{эксп}} \cdot 100\%}{m_{\text{теор}}} = \frac{0,72 \cdot 100}{0,746} = 96,5 \%$$

2. Чему равна сила тока при электролизе раствора электролита в течение 1 ч 40 мин 25 с, если на катоде выделилось 1,4 л водорода (н.у.)?

*Решение:* Согласно первому закону Фарадея

$$I = \frac{m \cdot 96500}{\mathcal{E} \cdot t}$$

Отношение  $\frac{m}{\mathcal{E}}$  можно заменить отношением  $\frac{V_{\text{H}_2}}{V_{\text{ЭH}_2}}$ , где эквивалентный объем водорода ( $V_{\text{ЭH}_2}$ ) равен 11,2 л. Тогда

$$I = \frac{V_{\text{H}_2} \cdot 96500}{V_{\text{ЭH}_2} \cdot t} = \frac{1,4 \cdot 96500}{11,2 \cdot 6025} = 2 \text{ А.}$$

3. При электролизе раствора  $\text{AgNO}_3$  масса серебряного анода уменьшилась на 5,4 г. Сколько кулонов электричества израсходовано на этот процесс?

*Решение:* Согласно первому закону Фарадея

$$m = \frac{Q \cdot A \cdot z}{n \cdot 96500},$$

отсюда

$$Q = \frac{m \cdot n \cdot 96500}{A \cdot z} = \frac{5,4 \cdot 1 \cdot 96500}{108 \cdot 1} = 4825 \text{ Кл}$$

4. Сколько граммов гидроксида калия образовалось у катода при электролизе раствора  $\text{K}_2\text{SO}_4$ , если на аноде выделилось 11,2 л кислорода (н. у.)?

*Решение:* Исходя из эквивалентного объема кислорода (5,6 л), определяем, что выделившийся объем кислорода составляет  $\frac{11,2}{5,6} = 2$

эквивалента. Сколько же эквивалентных масс КОН образовалось у катода, или  $56,11 \cdot 2 = 112,22$  г (56,11 г/экв – эквивалентная масса КОН).

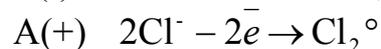
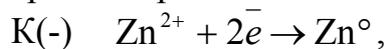
5. При электролизе водного раствора хлорида цинка на аноде выделился хлор объемом 26,88 л (н.у.), а на катоде – цинк массой 62,4 г. Считая выход хлора теоретическим, определите выход цинка.

*Решение:* Определим количество выделившегося хлора



$$n = \frac{V_{\text{Cl}_2}}{V_m} = \frac{26,48}{22,4} = 1,2 \text{ моль}$$

Из уравнений электродных реакций



следует, что  $n_{\text{Zn}} = n_{\text{Cl}_2} = 1,2$  моль.

Найдем массу цинка, который образовался бы при 100%-ом выходе по току

$$m_{\text{теор. Zn}} = n_{\text{Zn}} \cdot A = 1,2 \cdot 65 = 78 \text{ г}$$

Отсюда

$$\text{ВТ}_{\text{Zn}} = \frac{m_{\text{эксп.}} \cdot 100\%}{m_{\text{теор.}}} = \frac{62,4 \cdot 100}{78} = 80 \%$$

### Задачи для самостоятельного решения

1. Сколько граммов NaOH образовалось у графитового катода при электролизе раствора сульфата натрия, если на катоде выделилось 5,6 л водорода (н. у.)? Составьте уравнения электродных процессов.

2. Электролиз раствора  $\text{K}_2\text{SO}_4$  проводили при силе тока 5 А в течение 3 ч. Составьте электронные уравнения процессов, происходящих на электродах, вычислите объём выделяющихся на электродах веществ.

3. При электролизе раствора  $\text{CuSO}_4$  на аноде выделилось 168 см<sup>3</sup> кислорода (н. у.). Сколько граммов меди выделилось на катоде?

4. Сколько граммов воды разложилось при электролизе раствора  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  при силе тока 7 А в течение 5 ч?

5. Электролиз раствора сульфата некоторого металла проводили при силе тока 6 А в течение 45 мин, в результате чего на катоде выделилось 5,49 г металла. Вычислите эквивалентную массу металла.

6. Электролиз раствора сульфата цинка проводили в течение 5 ч, в результате чего выделилось 6 л кислорода (н. у.). Вычислите силу тока.

7. Какие вещества и в каком количестве выделяются на угольных электродах при электролизе раствора NaI в течение 2,5 ч, если сила тока равна 6 А?

8. Какие вещества и в каком количестве выделяются на угольных электродах при электролизе раствора KBr в течение 1 ч 35 мин при силе тока 15 А?

9. При электролизе соли некоторого металла в течение 1,5 ч при силе тока 1,8 А на катоде выделилось 1,75 г этого металла. Вычислите



эквивалентную массу металла.

10. Электролиз раствора  $K_2SO_4$  проводили в течение 5 ч при силе тока 3,5 А. Составьте электронные уравнения процессов, происходящих на электродах. Какая масса воды при этом разложилась и чему равен объём газов (н. у.), выделившихся на катоде и аноде?

11. Электролиз раствора  $AgNO_3$  проводили в течение 4 ч при силе тока 2 А. Составьте электронные уравнения процессов, происходящих на электродах. Какая масса серебра выделилась на катоде и каков объём газа (н. у.), выделившегося на аноде?

12. Составьте электронные уравнения процессов, происходящих на угольных электродах при электролизе раствора  $CuCl_2$ . Вычислите массу меди, выделившейся на катоде, если на аноде выделилось 560 мл газа (н. у.).

13. Составьте электронные уравнения процессов, происходящих на электродах при электролизе раствора  $KOH$ . Чему равна сила тока, если в течение 1 ч 15 мин 20 с на аноде выделилось 6,4 г газа? Сколько литров газа (н. у.) выделилось при этом на катоде?

14. Какая масса натрия выделится на катоде при электролизе расплава йодида натрия, если на аноде выделился йод массой 762 г?

15. При электролизе расплава  $KCl$  на катоде получили калий массой 7,8 г. Определите объём хлора, который выделился на аноде (н.у.).

16. При электролизе водного раствора гидроксида калия на катоде выделился молекулярный водород, объём которого (при н. у.) равен 11,2 л. Какой объём кислорода выделился при этом на инертном аноде?

17. Какая масса кальция образуется на катоде при электролизе расплава  $CaCl_2$ , если известно, что в результате электролиза выделился хлор объёмом 896 л (н. у.)?

### Творческий уровень

#### Задачи для самостоятельного решения

1. В процессе электролиза раствора сульфата натрия получено  $448 \text{ дм}^3 \text{ H}_2$  (н. у.). Напишите уравнения реакций, протекающих на инертных электродах, а также рассчитайте, сколько времени протекал электролиз при силе тока 1 А.

2. Сколько времени проводят электролиз раствора электролита при силе тока 5 А, если на катоде выделяется 0,1 эквивалентной массы вещества? Сколько вещества выделится на аноде?

3. Чему равна сила тока, если при электролизе раствора  $CaCl_2$  в течение 30 мин на катоде выделилось 8,4 л водорода (н. у.). Вычислите массу вещества, выделяющегося на аноде.

4. Сколько граммов  $H_2SO_4$  образуется возле анода при электролизе раствора  $Na_2SO_4$ , если на аноде выделяется 1,12 л кислорода, измеренного при н. у.? Вычислите массу вещества, выделяющегося на катоде.



5. Вычислите силу тока, зная, что при электролизе раствора KOH в течение 1 ч 15 мин 20 с на аноде выделилось 6,4 г кислорода. Какое вещество и в каком количестве выделяется на катоде?

6. При электролизе раствора  $\text{CuSO}_4$  на аноде выделилось  $168 \text{ см}^3$  газа (н. у.). Составьте электронные уравнения процессов, происходящих на электродах, и вычислите, какая масса меди выделилась на катоде.

7. Электролиз раствора  $\text{KNO}_3$  проводили в течение 4 ч при силе тока 6 А. Составьте электронные уравнения процессов, происходящих на электродах. Какая масса воды при этом разложилась и чему равен объём газов (н.у.), выделившихся на катоде и аноде?

8. Насколько уменьшится масса серебряного анода, если электролиз раствора  $\text{AgNO}_3$  проводит при силе тока 2 А в течение 37 мин 10 с? Составьте электронные уравнения процессов, происходящих на графитовых электродах.

9. Составьте электронные уравнения процессов, происходящих на графитовых электродах при электролизе расплавов и водных растворов NaCl и KOH. Сколько литров (н. у.) газа выделится на аноде при электролизе KOH, если электролизе проводить в течение 30 мин при силе тока 0,7 А?

10. При электролизе соли трехвалентного металла при силе тока 1,5 А в течение 30 мин на катоде выделилось 1,071 г металла. Вычислите атомную массу металла.

11. При электролизе раствора соли кадмия израсходовано 3434 Кл электричества. Выделилось 2 г кадмия. Чему равна эквивалентная масса кадмия?

12. При электролизе водного раствора сульфата никеля (II) на катоде получили никель массой 177 г, выход которого составил 75 %. Какой объём кислорода выделится при этом на аноде? Выход кислорода считать равным теоретическому.



## Тема № 9 «ДИСПЕРСНЫЕ СИСТЕМЫ»

### Теоретическая часть

Дисперсной системой называется система, в которой одна составная часть распределена в мелкодробленном состоянии в среде другой.

Составная часть, распределенная в виде отдельных твердых частиц, капелек жидкости или пузырьков газа, называется дисперсной фазой, а среда, в которой распределена дисперсная фаза, называется дисперсионной средой.

Таблица 1 - Классификация дисперсных систем по величине частиц дисперсной фазы

Система	Диаметр частиц, см	Число атомов в одной частице
Взвеси (суспензии, эмульсии)	$> 10^{-5}$	$> 10^9$
Коллоидные растворы (золи)	$10^{-7} - 10^{-5}$	$10^3 - 10^9$
Истинные растворы	$10^{-8} - 10^{-7}$	$< 10^3$

Таблица 2 - Классификация дисперсных систем по агрегатному состоянию дисперсной фазы и дисперсионной среды

Вид золя	Система	Примеры
Аэрозоли	$\Gamma_1 - \Gamma_2$	не существует дисперсных систем
	$\Gamma_1 - \text{Ж}_2$	туманы
	$\Gamma_1 - \text{T}_2$	пыль (грубодисперсная система), дым (высокодисперсная система)
Лиозоли	$\text{Ж}_1 - \Gamma_2$	жидкие пены
	$\text{Ж}_1 - \text{Ж}_2$	эмульсии
	$\text{Ж}_1 - \text{T}_2$	Суспензии (низкодисперсные системы), золи (высокодисперсные системы)
Литозоли	$\text{T}_1 - \Gamma_2$	твердые пены (пемза, шлак, туф, хлеб, пенопласт)
	$\text{T}_1 - \text{Ж}_2$	натуральный жемчуг ( $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ )
	$\text{T}_1 - \text{T}_2$	бетон, эмали, металлокерамика, сплавы, цветные стекла

Индексы: 1 - дисперсионная среда; 2 – дисперсная фаза.

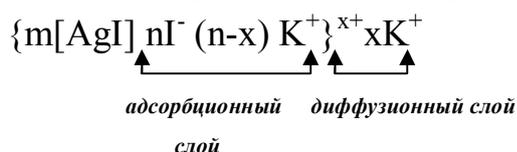
Агрегатные состояния: Г – газообразное; Ж – жидкое; Т – твердое.

Основной интерес представляют коллоидные растворы (золи). Их составляющими единицами являются мицеллы. При образовании золя AgI по реакции двойного обмена

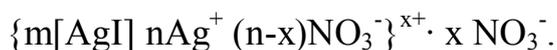


возможны два варианта мицелл в зависимости от того, какой электролит взят в избытке. Первоначально рассмотрим случай, когда в избытке взят KI. Молекулы малорастворимого вещества AgI соединяются вместе, образуя агрегаты молекул  $m$  [AgI]. Благодаря значительному размеру этих частиц на поверхности раздела создаются условия, необходимые для явлений адсорбции. Особенно энергично из окружающего раствора адсорбируются ионы, входящие в состав малорастворимого вещества, способные достраивать кристалл AgI, а именно I<sup>-</sup>, так как их избыток. Образуется ядро  $m[\text{AgI}]n\text{I}^-$ . Ионы I<sup>-</sup> называются потенциалопределяющими. Отрицательно заряженное ядро притягивает противоионы (K<sup>+</sup>) из раствора. Ядро вместе с частью прочно связанных с ним противоионов называется коллоидной частицей или гранулой  $\{m[\text{AgI}]n\text{I}^- \cdot (n-x)\text{K}^+\}^{x-}$ . Она имеет заряд, в данном случае отрицательный, так как тепловое движение молекул препятствует полной компенсации зарядов ионов I<sup>-</sup> ионами K<sup>+</sup>. Появление зарядов мешает объединению частиц в более крупные агрегаты, которые могли бы выпасть в осадок. Это определяет устойчивость золя.

Полностью мицелла имеет следующую формулу



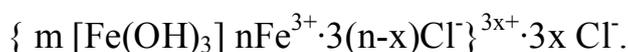
Если в избытке будет взят электролит AgNO<sub>3</sub>, то мицелла AgI будет иметь формулу



Рассмотрим случай, когда потенциалопределяющий ион многозарядный. Например, при образовании мицеллы Fe(OH)<sub>3</sub> по реакции



формула мицеллы Fe(OH)<sub>3</sub> следующая



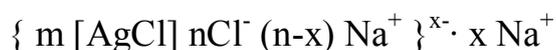
Так как коллоидные частицы имеют заряд, они могут переноситься в электрическом поле. Это явление носит название электрофорез. Коллоидная частица переносится к противоположно заряженному электроду только с частью противоионов, отрываясь от остальных по границе скольжения – границе гранулы.

Для рассмотренных коллоидных частиц будет осуществляться перенос к аноду (+) в первом случае, к катоду (-) - во втором и третьем случае.



## Начальный уровень Примеры решения задач

1. К водному раствору хлорида натрия медленно приливается водный раствор нитрата серебра. Образуется коллоидный раствор хлорида серебра, имеющий мицеллу с формулой



Вопросы:

- Какие ионы адсорбируются возле агрегата?

Ответ: Агрегатом является малорастворимое вещество  $AgCl$ , на котором адсорбируются ионы  $Cl^-$ , входящие в состав кристаллической решетки  $AgCl$  и присутствующие в избытке.

- Каков заряд ядра и слоя потенциалоопределяющих ионов?

Ответ: Заряд отрицательный, численно он равен  $n$ .

- Какие ионы входят в состав адсорбционного слоя, являясь противоионами?

Ответ: В состав адсорбционного слоя входят ионы  $Cl^-$  и  $Na^+$ . Из них  $Na^+$  – противоионы.

- Укажите заряд коллоидной частицы (гранулы).

Ответ: Заряд коллоидной частицы отрицательный, и численно он равен  $n^- + (n-x) = x^-$ .

- Какие ионы входят в состав диффузного слоя?

Ответ: В состав диффузного слоя входят противоионы  $Na^+$ . Они находятся за границей скольжения (границей коллоидной частицы).

- Укажите заряд мицеллы.

Ответ: Мицелла является электронейтральным образованием, она не имеет заряда, так как заряд коллоидной частицы полностью компенсируется зарядом диффузного слоя.

### Задачи для самостоятельного решения

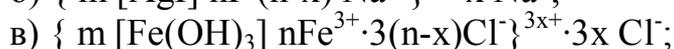
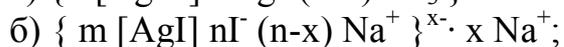
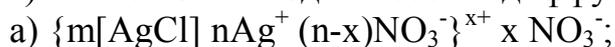
1. Согласно формуле нижеприведенных мицелл укажите:

а) Какие ионы являются потенциалоопределяющими, а какие – противоионами?

б) Чему равен заряд ядра и заряд гранулы?

в) Какие ионы входят в состав абсорбционного слоя, являясь противоионами?

г) Какие ионы входят в состав диффузного слоя?





- г)  $\{ m [\text{Fe}(\text{OH})_3] n\text{OH}^- \cdot (n-x)\text{K}^+ \}^{x-} \cdot x \text{K}^+$ ;  
 д)  $\{ m [\text{NiS}] n\text{Ni}^{2+} \cdot 2(n-x)\text{Cl}^- \}^{2x+} \cdot 2x \text{Cl}^-$ ;  
 е)  $\{ m [\text{NiS}] n\text{S}^{2-} \cdot 2(n-x)\text{H}^+ \}^{2x-} \cdot 2x \text{H}^+$ ;

### Средний уровень Примеры решения задач

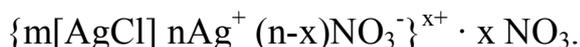
1. Напишите формулы мицеллы золя  $\text{AgCl}$ , образующегося по реакции



Ответьте на вопросы:

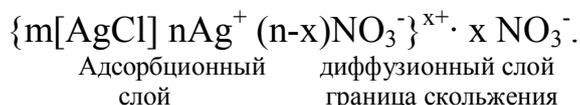
- Какие ионы являются потенциалопределяющими, а какие – противоионами?

Так как в избытке находится электролит  $\text{AgNO}_3$ , то формула мицеллы будет следующей



Потенциалопределяющие ионы ( $\text{Ag}^+$ ) адсорбируются на агрегате. Противоионами являются  $\text{NO}_3^-$ .

- Укажите адсорбционный слой, диффузный слой и границу скольжения.



- Какие ионы (потенциалопределяющие или противоионы) входят в состав диффузного слоя?

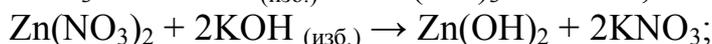
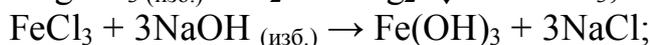
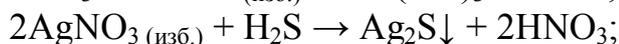
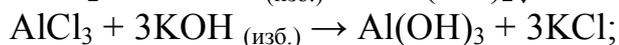
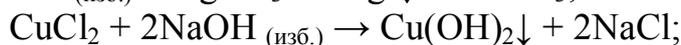
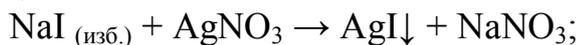
Диффузный слой включает в себя только противоионы.

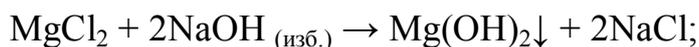
- Чему равен заряд ядра и заряд гранулы?

Заряд ядра равен  $n+$ . Заряд коллоидной частицы равен  $n - (n - x) = x^+$ .

### Задачи для самостоятельного решения

1. Напишите формулу мицеллы золя, образующегося по нижеприведенным реакциям:





Ответьте на вопросы:

- Каков заряд ядра и слоя потенциалопределяющих ионов?
- Какие ионы адсорбируются на агрегате?
- Какие ионы, являясь противоионами, входят в состав адсорбционного слоя?
- Укажите заряд ядра и заряд гранулы.
- Укажите границу скольжения.
- Из каких ионов состоит диффузный слой?

### Высший уровень Примеры решения задач

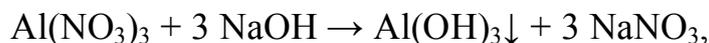
1. Напишите формулу мицеллы золя, образующегося по реакции



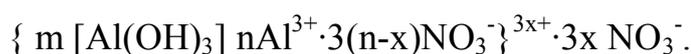
при условии избытка раствора  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$  и ответьте на вопросы:

- Какие ионы являются потенциалопределяющими, а какие – противоионами?

При условии избытка  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$  протекает реакция образования золя  $\text{Al}(\text{OH})_3$



в мицелле которого потенциалопределяющими ионами будут  $\text{Al}^{3+}$ , а противоионами  $\text{NO}_3^-$ .



- Какие ионы входят в состав адсорбционного слоя, а какие диффузионного?

В состав диффузного слоя входят  $\text{NO}_3^-$ , а адсорбционного -  $\text{Al}^{3+}$  и  $\text{NO}_3^-$ .

- Укажите заряд ядра и коллоидной частицы.

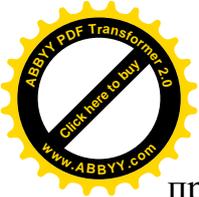
Заряд ядра  $+3n$ . Заряд коллоидной частицы  $+3x$ .

- К какому электроду – аноду или катоду, будут двигаться коллоидные частицы при электрофорезе?

Так как коллоидные частицы заряжены положительно, то при электрофорезе они будут двигаться к отрицательно заряженному катоду.

- Какие ионы, добавленные в раствор, могут вызвать коагуляцию?

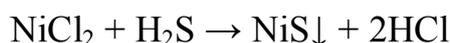
Коагуляцию вызывают ионы, имеющие заряд противоположный по знаку заряду ядра, то есть отрицательно заряженные. При добавлении к золю раствора  $\text{KNO}_3$  увеличивается концентрация противоионов  $\text{NO}_3^-$ , начинается



процесс вхождения их в адсорбционный слой, что уменьшает заряд коллоидной частицы, ослабляет устойчивость золя и приводит к его коагуляции.

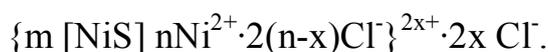
2. К водному раствору  $\text{NiCl}_2$  медленно приливают водный раствор  $\text{H}_2\text{S}$ . Укажите заряд коллоидной частицы и напишите формулу мицеллы золя.

Ответ: Так как в избытке имеется раствор  $\text{NiCl}_2$ , то в результате протекания реакции



образуется золь  $\text{NiS}$ , в мицеллах которого потенциалопределяющими ионами являются  $\text{Ni}^{2+}$ , а противоионами  $\text{Cl}^-$ .

Формула мицеллы



Заряд коллоидной частицы  $+2x$ .

### Задачи для самостоятельного решения

1. К водному раствору первого электролита медленно приливают раствор второго электролита. Составьте схему строения мицеллы и ответьте на нижеприведенные вопросы, если

первый электролит

а)  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$

б)  $\text{ZnCl}_2$

в)  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$

г)  $\text{AgNO}_3$

д)  $\text{H}_2\text{S}$

е)  $\text{CuCl}_2$

ж)  $\text{H}_2\text{S}$

з)  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$

и)  $\text{H}_2\text{S}$

второй электролит

КОН;

NaOH;

NaOH;

$\text{H}_2\text{S}$ ;

$\text{AgNO}_3$ ;

LiOH;

$\text{NiCl}_2$ ;

$\text{H}_2\text{S}$ ;

$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ .

Вопросы:

-Какие ионы адсорбируются вокруг агрегата?

- Какие ионы входят в состав адсорбционного и диффузного слоя?

- Чему равен заряд ядра и коллоидной частицы?

- К какому электроду будут двигаться коллоидные частицы при электрофорезе?

-Укажите адсорбционный, диффузный слой и границу скольжения.

- Какие ионы, добавленные в раствор, могут вызвать коагуляцию золя?

- напишите формулу мицеллы золя, образующегося при избытке второго электролита.



2. Составьте схемы образования мицелл и формулы их коллоидных частиц, если взяты следующие растворы  $MgCl_2$  и  $K_2CO_3$ . В каком случае гранулы будут положительными, а в каком отрицательными?

3. При образовании золя силиката бария одним из исходных растворов, взятых в избытке, был  $Ba(NO_3)_2$ . Предложите второй раствор, запишите уравнение реакции, составьте схему мицеллы золя и укажите ее слои.

4. На поверхности ядра при образовании мицеллы  $AgCl$  адсорбировались ионы  $Cl^-$ . Составьте уравнение реакции, схему и формулу мицеллы. Какой электролит был взят в избытке, если одним из них был  $AgNO_3$ ?

5. При взаимодействии растворов  $MgCl_2$  и  $Na_2CO_3$  в слое противоионов обнаружены  $Cl^-$  ионы. Составьте уравнения получения золя, формулу мицеллы, и укажите какое вещество было взято в избытке.

6. Коллоидная частица золя, полученного по уравнению реакции  $AgNO_3 + KCl \rightarrow \dots$ , имеет отрицательный заряд. Допишите уравнение реакции, составьте формулу мицеллы. Какой электролит был взят в избытке?

7. Протекает реакция  $Cu(NO_3)_2 + NaOH \rightarrow \dots$ . Допишите уравнение реакции. Какой электролит взят в избытке, если в диффузном слое обнаружены ионы  $Na^+$ ? Составьте формулу мицеллы.

8. Заряд коллоидной частицы положительный. Реакция образования золя шла по уравнению  $NaOH + Cu(NO_3)_2 \rightarrow \dots$ . Допишите уравнение реакции. Определите вещество, взятое в недостатке. Составьте формулу мицеллы золя.

9. При получении золя сульфида цинка по уравнению  $ZnCl_2 + Na_2S \rightarrow \dots$  в диффузном слое обнаружены ионы натрия. Допишите уравнение реакции, напишите формулу мицеллы, укажите ее слои. Назовите то вещество, которое было взято в избытке.

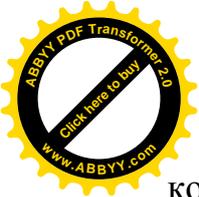
10. Составьте схемы образования мицелл и их формулы, если взяты растворы  $MgCl_2$  и  $K_2CO_3$ . В каком случае коллоидные частицы будут положительными, а в каком отрицательными?

### Творческий уровень

#### Задачи для самостоятельного решения

1. При составлении формулы мицеллы золя  $PbCO_3$  в слое (n-x) оказались положительные ионы. Одним из исходных растворов был электролит  $Na_2CO_3$ . Был ли он в избытке при образовании мицеллы? Запишите уравнение реакции. Какой электролит Вы возьмете вторым? Назовите слои образовавшегося золя.

2. Из двух растворов:  $Ba(NO_3)_2$  и  $K_2SiO_3$  при определенных условиях был получен золь. Какой? Какие условия были созданы, если в первом случае



коллоидная частица имел «+» заряд, а во втором «-». Составьте две формулы мицеллы.

3. Был получен золь, агрегат мицеллы которого адсорбировал сульфат-ионы. Напишите формулу мицеллы, если реакция шла по уравнению  $\text{BaCl}_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4 \rightarrow \dots$ . Какой раствор был взят в избытке?

4. В формуле мицеллы были допущены ошибки. Образование мицеллы шло по уравнению реакции:  $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{Pb}(\text{NO}_3)_2 \rightarrow \dots$ . Раствор карбоната натрия был взят в избытке. Допишите уравнение реакции, найдите ошибки, назовите слои мицеллы:  $\{m[\text{PbCO}_3] n\text{Pb}^{2+} 2(n-x)\text{CO}_3^{2-}\}^{2x+} \cdot 2x\text{CO}_3^{2-}$ . Сколько ошибок в формуле мицеллы.

5. Для получения гидрозоль (какого) были взяты растворы  $\text{SrCl}_2$  и  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Раствор карбоната натрия взят в избытке. Могут ли быть в диффузном слое ионы хлора? Если нет, то какие ионы в данном слое присутствуют? Напишите формулу мицеллы. Какой заряд имеет гранула?

6. При реакции  $\text{BiCl}_3 + \text{K}_3\text{PO}_4 \rightarrow \dots$  был получен золь хлористого калия, при недостатке  $\text{BiCl}_3$ . Мог ли получиться такой золь? Если нет, то какой? Составьте формулу мицеллы.

7. Формула мицеллы имеет вид  $\{m[\text{AgCl}] n\text{Ag}^+ (n-x)\text{NO}_3^-\}^{x+} \cdot x\text{NO}_3^-$ , а один из продуктов реакции – нитрат натрия. Напишите уравнения реакции, формулу мицеллы. Определите заряд гранулы. Укажите какой раствор был взят в избытке.

8. Предложите реакцию образования золь  $\text{As}_2\text{S}_3$ , если одним из электролитов был  $\text{AsCl}_3$ . Напишите формулу мицеллы при условии «+» заряда её ядра. Укажите все слои мицеллы.



## Литература

1. Глинка Н.Л. Общая химия.- Л.: Химия, 1983.- 704 с.
2. Ахметов Н.С. Общая и неорганическая химия. М.: Высш. школа, 1981.- 679 с.
3. Омеляненко Э.В., Позднякова Е.И. Методические указания к самостоятельной работе по химии. Химические источники тока. – ХАДИ, 1990.- 59 с.
4. Позднякова О.І. та ін. Електрохімічні процеси у виробництві та експлуатації автомобілів: Конспект лекцій. – ХНАДУ, 2003.– 85 с.
5. Евстратова К.И., Купина Н.А., Малахова Е.Е. Физическая и коллоидная химия.- М.: Высш. шк., 1990.- 487 с.
6. Хоботова Э.Б., Маракина Л.Д. Конспект лекций по дисциплине «Химия». Раздел «Поверхностные явления. Дисперсные системы».- Харьков: ХНАДУ, 2004.- 58 с.
7. Воюцкий С.С. Курс коллоидной химии.- М.: Химия, 1976.- 512 с.



Приложение  
Таблица А1

Растворимость солей и оснований в воде (Р - растворимое;  
М - малорастворимое; Н - практически нерастворимое вещество; прочерк  
означает, что вещество не существует или разлагается водой)

Анионы	Катионы																		
	Li <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Ag <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Sr <sup>2+</sup>	Ba <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>	Hg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Sn <sup>2+</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Bi <sup>3+</sup>	Cr <sup>3+</sup>	Mn <sup>2+</sup>	Fe <sup>3+</sup>	Fe <sup>2+</sup>
Cl <sup>-</sup>	Р	Р	Р	Р	Н	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	М	—	Р	Р	Р	Р
Br <sup>-</sup>	Р	Р	Р	Р	Н	Р	Р	Р	Р	Р	М	Р	Р	М	—	Р	Р	Р	Р
I <sup>-</sup>	Р	Р	Р	—	Н	Р	Р	Р	Р	Р	Н	Р	Р	Н	—	Р	Р	—	Р
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	—	Р	Р	Р	—	Р	Р
CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup>	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	—	Р	—	—	Р	—	Р
S <sup>2-</sup>	Р	Р	Р	Н	Н	—	Р	Р	Р	Н	Н	—	Н	Н	Н	—	Н	Н	Н
SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Р	Р	Р	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	—	—	Н	Н	—	Н	—	Н
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Р	Р	Р	Р	М	Р	М	Н	Н	Р	—	Р	Р	Н	—	Р	Р	Р	Р
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Р	Р	Р	—	Н	Н	Н	Н	Н	Н	—	—	—	Н	Н	—	Н	—	Н
SiO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Р	Р	—	—	—	Н	Н	Н	Н	Н	—	Н	—	Н	—	—	Н	Н	Н
CrO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Р	Р	Р	Н	Н	Р	М	М	Н	Н	Н	—	—	Н	Н	Р	Н	—	—
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Н	Р	Р	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н
OH <sup>-</sup>	Р	Р	Р	Н	—	Н	М	М	Р	Н	—	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н

Таблица 2

Константы и степени диссоциации слабых электролитов

Электролиты	Формула	Числовые значения констант диссоциации	Степень диссоциации в 0,1 н. растворе, %
Азотистая кислота	HNO <sub>2</sub>	$K = 4,0 \cdot 10^{-4}$	6,4
Аммиак (гидроксид)	NH <sub>4</sub> OH	$K = 1,8 \cdot 10^{-5}$	1,3
Муравьиная кислота	HCOOH	$K = 1,76 \cdot 10^{-4}$	4,2
Ортоборная кислота	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	$K_1 = 5,8 \cdot 10^{-10}$ $K_2 = 1,8 \cdot 10^{-13}$ $K_3 = 1,6 \cdot 10^{-14}$	0,007
Ортофосфорная кислота	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	$K_1 = 7,7 \cdot 10^{-3}$ $K_2 = 6,2 \cdot 10^{-8}$ $K_3 = 2,2 \cdot 10^{-13}$	27
Сернистая кислота	H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	$K_1 = 1,7 \cdot 10^{-2}$ $K_2 = 6,2 \cdot 10^{-8}$	20,0
Сероводородная кислота	H <sub>2</sub> S	$K_1 = 5,7 \cdot 10^{-8}$ $K_2 = 1,2 \cdot 10^{-15}$	0,07
Синильная кислота	HCN	$K = 7,2 \cdot 10^{-10}$	0,009
Угльная кислота	H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	$K_1 = 4,3 \cdot 10^{-7}$ $K_2 = 5,6 \cdot 10^{-11}$	0,17
Уксусная кислота	CH <sub>3</sub> COOH	$K = 1,75 \cdot 10^{-5}$	1,3
Фтороводородная кислота	HF	$K = 7,2 \cdot 10^{-4}$	8,5
Хлорноватистая кислота	HClO	$K = 3,0 \cdot 10^{-8}$	0,05



Таблица

Стандартные электродные потенциалы ( $E^0$ ) некоторых металлов (ряд напряжений)

Электрод	Электродная реакция	$E^0, \text{В}$
Li/Li <sup>+</sup>	Li = Li <sup>+</sup> + e <sup>-</sup>	-3,02
Ca/Ca <sup>2+</sup>	Ca = Ca <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup>	-2,84
Mg/Mg <sup>2+</sup>	Mg = Mg <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup>	-2,38
Al/Al <sup>3+</sup>	Al = Al <sup>3+</sup> + 3e <sup>-</sup>	-1,66
Mn/Mn <sup>2+</sup>	Mn = Mn <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup>	-1,05
Zn/Zn <sup>2+</sup>	Zn = Zn <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup>	-0,76
Cr/Cr <sup>3+</sup>	Cr = Cr <sup>3+</sup> + 3e <sup>-</sup>	-0,74
Fe/Fe <sup>2+</sup>	Fe = Fe <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup>	-0,44
Cd/Cd <sup>2+</sup>	Cd = Cd <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup>	-0,40
Co/Co <sup>2+</sup>	Co = Co <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup>	-0,277
Ni/Ni <sup>2+</sup>	Ni = Ni <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup>	-0,23
Sn/Sn <sup>2+</sup>	Sn = Sn <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup>	-0,14
Pb/Pb <sup>2+</sup>	Pb = Pb <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup>	-0,126
H <sub>2</sub> /2H <sup>+</sup>	H <sub>2</sub> = 2H <sup>+</sup> + 2e <sup>-</sup>	0,0
Sb/Sb <sup>3+</sup>	Sb = Sb <sup>3+</sup> + 3e <sup>-</sup>	+0,2
Bi/Bi <sup>3+</sup>	Bi = Bi <sup>3+</sup> + 3e <sup>-</sup>	+0,23
Cu/Cu <sup>2+</sup>	Cu = Cu <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup>	+0,34
Ag/Ag <sup>+</sup>	Ag = Ag <sup>+</sup> + e <sup>-</sup>	+0,8
Pd/Pd <sup>2+</sup>	Pd = Pd <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup>	+0,83
Hg/Hg <sup>2+</sup>	Hg = Hg <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup>	+0,85
Pt/Pt <sup>2+</sup>	Pt = Pt <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup>	+1,2
Au/Au <sup>+</sup>	Au = Au <sup>+</sup> + e <sup>-</sup>	+1,7



Таблица 4

## ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

ПЕРИОДЫ	РЯДЫ	Г Р У П П Ы									
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
1	I	(H)									
2	II	Li 3 6,94, 2s <sup>1</sup> ЛИТИЙ	Be 4 9,01218, 2s <sup>2</sup> БЕРИЛЛИЙ	5	B 6 10,81, 2p <sup>1</sup> БОР	C 7 12,011, 2p <sup>2</sup> УГЛЕРОД	8	N 7 14,0067, 2p <sup>3</sup> АЗОТ			
3	III	Na 11 22,98977, 3s <sup>1</sup> НАТРИЙ	Mg 12 24,305, 3s <sup>2</sup> МАГНИЙ	13	Al 13 26,98154, 3p <sup>1</sup> АЛЮМИНИЙ	14	Si 14 28,0855, 3p <sup>2</sup> КРЕМНИЙ	15	P 15 30,97376, 3p <sup>3</sup> ФОСФОР		
4	IV	K 19 39,0983, 4s <sup>1</sup> КАЛИЙ	Ca 20 40,08, 4s <sup>2</sup> КАЛЬЦИЙ	21	Sc 21 44,9559, 3d <sup>1</sup> 4s <sup>2</sup> СКАНДИЙ	22	Ti 22 47,90, 3d <sup>2</sup> 4s <sup>2</sup> ТИТАН	23	V 23 50,9415, 3d <sup>3</sup> 4s <sup>2</sup> ВАНАДИЙ		
	V	29	Cu 30 63,546, 3d <sup>10</sup> 4s <sup>1</sup> МЕДЬ	31	Zn 31 65,38, 3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> ЦИНК	32	Ga 32 69,72, 4p <sup>1</sup> ГАЛЛИЙ	33	Ge 33 72,59, 4p <sup>2</sup> ГЕРМАНИЙ	34	As 34 74,9216, 4p <sup>3</sup> АРСЕН
5	VI	Rb 37 85,4678, 5s <sup>1</sup> РУБИДИЙ	Sr 38 87,62, 5s <sup>2</sup> СТРОНЦИЙ	39	Y 39 88,9059, 4d <sup>1</sup> 5s <sup>2</sup> ИТРИЙ	40	Zr 40 91,22, 4d <sup>2</sup> 5s <sup>2</sup> ЦИРКОНИЙ	41	Nb 41 92,9064, 4d <sup>4</sup> 5s <sup>1</sup> НИОБИЙ		
	VII	47	Ag 48 107,8682, 4d <sup>10</sup> 5s <sup>1</sup> СЕРЕБРО	49	Cd 49 112,41, 4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> КАДМИЙ	50	In 50 114,82, 5p <sup>1</sup> ИНДИЙ	51	Sn 51 118,69, 5p <sup>2</sup> ОЛОВО	52	Sb 52 121,75, 5p <sup>3</sup> СУРЬМА
6	VIII	Cs 55 132,9054, 6s <sup>1</sup> ЦЕЗИЙ	Ba 56 137,33, 6s <sup>2</sup> БАРИЙ	57	La* 57 138,9055, 5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup> ЛАНТАН	72	Hf 72 178,49, 5d <sup>2</sup> 6s <sup>2</sup> ГАФНИЙ	73	Ta 73 180,9479, 5d <sup>3</sup> 6s <sup>2</sup> ТАНТАЛ		
	IX	79	Au 80 196,9665, 5d <sup>10</sup> 6s <sup>1</sup> ЗОЛОТО	81	Hg 81 200,59, 5d <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup> РТУТЬ	82	Tl 82 204,37, 6p <sup>1</sup> ТАЛЛИЙ	83	Pb 83 207,2, 6p <sup>2</sup> СВИНЕЦ	84	Bi 84 208,9804, 6p <sup>3</sup> ВИСМУТ
7	X	Fr 87 [223], 7s <sup>1</sup> ФРАНЦИЙ	Ra 88 226,0254, 7s <sup>2</sup> РАДИЙ	89	Ac** 89 [227], 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup> АКТИНИЙ	104	Ku 104 [261], 6d <sup>2</sup> 7s <sup>2</sup> КУРЧАТОВИЙ	(Ns) <sup>105</sup> [261], 6d <sup>3</sup> 7s <sup>2</sup> (НИЛЬСБОРИЙ)			

\*ЛАНТАНОИДЫ

Ce 58 140,12, 4f <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup> ЦЕРИЙ	Pr 59 140,9077, 4f <sup>3</sup> 6s <sup>2</sup> ПРАЗЕОДИМ	Nd 60 144,24, 4f <sup>4</sup> 6s <sup>2</sup> НЕОДИМ	Pm 61 [145], 4f <sup>5</sup> 6s <sup>2</sup> ПРОМЕТИЙ	Sm 62 150,4, 4f <sup>6</sup> 6s <sup>2</sup> САМАРИЙ	Eu 63 151,96, 4f <sup>7</sup> 6s <sup>2</sup> ЕВРОПИЙ	Gd 64 157,25, 4f <sup>7</sup> 5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup> ГАДОЛИНИЙ
---	---	--	---	--	---	---

\*\* АКТИНОИДЫ

Th 90 232,0381, 6d <sup>2</sup> 7s <sup>2</sup> ТОРИЙ	Pa 91 231,0359, 5f <sup>2</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup> ПРОТАКТИНИЙ	U 92 238,029, 5f <sup>3</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup> УРАН	Np 93 237,0482, 5f <sup>4</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup> НЕПТУНИЙ	Pu 94 [244], 5f <sup>6</sup> 7s <sup>2</sup> ПЛУТОНИЙ	Am 95 [243], 5f <sup>7</sup> 7s <sup>2</sup> АМЕРИЦИЙ	Cm 96 [247], 5f <sup>7</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup> НЮРИЙ
---	---	--	--	---	---	--

## ЭЛЕМЕНТЫ Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА

Э Л Е М Е Н Т О В									
VI	VII		VIII						
	1		2						
	1s <sup>1</sup> ВОДОРОД		1s <sup>2</sup> ГЕЛИЙ						
8	9		10						
2p <sup>4</sup> НИСЛОРОД	2p <sup>5</sup> ФТОР		2p <sup>6</sup> НЕОН						
16	17		18						
3p <sup>4</sup> СЕРА	3p <sup>5</sup> ХЛОР		3p <sup>6</sup> АРГОН						
24	25	26	27	28		29		30	
3d <sup>5</sup> 4s <sup>1</sup> ХРОМ	3d <sup>5</sup> 4s <sup>2</sup> МАРГАНЕЦ	3d <sup>6</sup> 4s <sup>2</sup> ЖЕЛЕЗО	3d <sup>7</sup> 4s <sup>2</sup> КОБАЛЬТ	3d <sup>8</sup> 4s <sup>2</sup> НИКЕЛЬ		3d <sup>9</sup> 4s <sup>2</sup> МЕДИ		3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> ЦИНК	
34	35	36		37		38		39	
4p <sup>4</sup> СЕЛЕН	4p <sup>5</sup> БРОМ	4p <sup>6</sup> КРИПТОН		4p <sup>6</sup> РУБИДИЙ		4p <sup>6</sup> СТРОНЦИЙ		4p <sup>6</sup> ИТРИЙ	
42	43	44	45	46		47		48	
4d <sup>5</sup> 5s <sup>1</sup> МОЛИБДЕН	4d <sup>5</sup> 5s <sup>2</sup> ТЕХНЕЦИЙ	4d <sup>7</sup> 5s <sup>1</sup> РУТЕНИЙ	4d <sup>8</sup> 5s <sup>1</sup> РОДИЙ	4d <sup>9</sup> 5s <sup>1</sup> ПАЛЛАДИЙ		4d <sup>10</sup> 5s <sup>1</sup> СЕРЕБРО		4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> КАДМИЙ	
52	53	54		55		56		57	
5p <sup>4</sup> ТЕЛЛУР	5p <sup>5</sup> ИОД	5p <sup>6</sup> КСЕНОН		5p <sup>6</sup> БАРИЙ		5p <sup>6</sup> ЦЕЗИЙ		5p <sup>6</sup> РАДИЙ	
74	75	76	77	78		79		80	
5d <sup>4</sup> 6s <sup>2</sup> ВОЛЬФРАМ	5d <sup>5</sup> 6s <sup>2</sup> РЕНИЙ	5d <sup>6</sup> 6s <sup>2</sup> ОСМИЙ	5d <sup>7</sup> 6s <sup>2</sup> ИРИДИЙ	5d <sup>8</sup> 6s <sup>2</sup> ПЛАТИНА		5d <sup>9</sup> 6s <sup>2</sup> ЗОЛОТО		5d <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup> СЕРЕБРО	
84	85	86		87		88		89	
6p <sup>4</sup> ПОЛОНИЙ	6p <sup>5</sup> АСТАТ	6p <sup>6</sup> РАДОН		6p <sup>6</sup> ЦЕЗИЙ		6p <sup>6</sup> БАРИЙ		6p <sup>6</sup> РАДИЙ	

Атомная масса — Атомный номер — Распределение электронов по уровням — Распределение электронов по уровням — Атомные массы приведены по Международной таблице 1979 г. Точность последней значащей цифры ±1 или ±3, если она выделена мелким шрифтом. В квадратных скобках приведены массовые числа наиболее устойчивых изотопов.

Названия и символы элементов, приведенные в круглых скобках, не являются общепринятыми.

Tb 65 158,9254, 4f <sup>9</sup> 6s <sup>2</sup> ТЕРБИЙ	Dy 66 162,50, 4f <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup> ДИСПРОЗИЙ	Ho 67 164,9304, 4f <sup>11</sup> 6s <sup>2</sup> ГОЛЬМИЙ	Er 68 167,26, 4f <sup>12</sup> 6s <sup>2</sup> ЭРБИЙ	Tm 69 168,9342, 4f <sup>13</sup> 6s <sup>2</sup> ТУЛИЙ	Yb 70 173,04, 4f <sup>14</sup> 6s <sup>2</sup> ИТТЕРБИЙ	Lu 71 174,967, 4f <sup>14</sup> 5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup> ЛЮТЕЦИЙ
--	--	--	--	--	---	---

Bk 97 [247], 5f <sup>9</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup> БЕРКЛИЙ	Cf 98 [251], 5f <sup>10</sup> 7s <sup>2</sup> КАЛИФОРНИЙ	Es 99 [254], 5f <sup>11</sup> 7s <sup>2</sup> ЭЙНШТЕЙНИЙ	Fm 100 [257], 5f <sup>12</sup> 7s <sup>2</sup> ФЕРМИЙ	Md 101 [258], 5f <sup>13</sup> 7s <sup>2</sup> МЕНДЕЛЕВИЙ	(No) <sup>102</sup> [255], 5f <sup>14</sup> 7s <sup>2</sup> (НОБЕЛИЙ)	(Lr) <sup>103</sup> [256], 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup> (ЛОУРЕНСИЙ)
--	--	--	---	---	---	--



## СОДЕРЖАНИЕ

### ВВЕДЕНИЕ

1. ХИМИЧЕСКАЯ КИНЕТИКА. ХИМИЧЕСКОЕ РАВНОВЕСИЕ
2. РАСТВОРЫ. КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРОВ
3. ДИССОЦИАЦИЯ ЭЛЕКТРОЛИТОВ. МОЛЕКУЛЯРНО-ИОННЫЕ РЕАКЦИИ
4. ВОДОРОДНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ
5. ГИДРОЛИЗ СОЛЕЙ
6. ХИМИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ ТОКА
7. КОРРОЗИЯ МЕТАЛЛОВ
8. ЭЛЕКТРОЛИЗ СОЛЕЙ
9. ДИСПЕРСНЫЕ СИСТЕМЫ

Литература

Приложение



Министерство образования и науки Украины

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

К печати и в свет  
разрешаю  
первый проректор

И.П. Гладкий

Хоботова Э.Б.  
Егорова Л.М.  
Терлецкая В.Я.

Сборник задач по химии для  
русскоязычных студентов и  
студентов-иностранцев

Все цитаты, цифровой, фактический  
материал, библиографические  
сведения проверены. Написание  
единиц соответствует стандартам.

Утверждено методическим  
советом университета  
протокол № от

Ответственная за выпуск доц. Л.Д. Маракина



Учебное издание

Сборник задач по химии для русскоязычных студентов и  
студентов - иностранцев

Составители: ХОБОТОВА Элина Борисовна  
ЕГОРОВА Лилия Михайловна  
ТЕРЛЕЦКАЯ Виктория Яковлевна

Ответственная за выпуск	<i>Маракина Л.Д.</i>
Редактор	<i>Цыгинова О.Ю.</i>
Комп'ютерна верстка	<i>Кулинич Ю.Л.</i>

Подписано до друку 2007 р.  
Формат . Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman.  
Друк RISO. Умовн. друк. л. Обл.- вид. л. .  
Заказ № . Тираж экз. Ціна договорна.

---

Видавництво ХНАДУ, 61200, м. Харків – МСП, ул. Петровського, 25

---

*Свідоцтво державного комітету інформаційної політики, телебачення та радіомовлення України  
про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів  
видавничої продукції, серія ДК № 897 від 17.04.2002 р.*