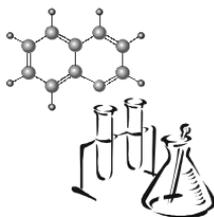


Серия  
«Высшее медицинское образование»

Т. Н. ЛИТВИНОВА

# ОБЩАЯ ХИМИЯ: ЗАДАЧИ С МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКОЙ НАПРАВЛЕННОСТЬЮ



*Рекомендовано ГБОУ ВПО  
Первый Московский государственный  
медицинский университет имени И.М. Сеченова  
в качестве учебного пособия для студентов учреждений  
высшего профессионального образования,  
обучающихся по специальностям «Лечебное дело», «Педиатрия»,  
«Стоматология» (по дисциплине «Химия») и по специальности  
«Медико-профилактическое дело» (по дисциплине «Общая химия,  
биоорганическая химия»)*

Ростов-на-Дону  
«ФЕНИКС»  
2014

УДК 54(075.8)

ББК 04.1я73

КТК 151

Л64

**Рецензенты:**

зав. кафедрой общей химии Санкт-Петербургского государственного педиатрического медицинского университета

к.х.н., профессор *В.В. Хорунжий*,

зав. кафедрой химии Санкт-Петербургской

военно-медицинской академии имени С.М. Кирова

д.х.н., профессор *В.В. Алексеев*

**Литвинова Т. Н.**

**Л64**    Общая химия : задачи с медико-биологической направленностью / Т.Н. Литвинова. — Ростов н/Д : Феникс, 2014. — 319, [2] с. — (Высшее медицинское образование).

**ISBN 978-5-222-22839-5**

Основная цель данного пособия — формирование умения у студентов применять теоретические знания фундаментальных понятий, законов и закономерностей химии при решении качественных и количественных задач, развитие и закрепление не только расчетных умений, но и умений интерпретировать количественные характеристики химических объектов, правильно использовать международную систему единиц. Химические задачи с медико-биологической и химико-экологической направленностью ориентированы на активное комплексное применение учащимися теоретического и фактологического материала, на формирование обобщенных умений решать задачи разного типа, в том числе комбинированных, как основы профессионально-химических компетенций. Такие задачи показывают, как глубоко связана химия с медициной, экологией, жизнью.

Данный сборник задач по общей химии предназначен для студентов лечебного, педиатрического, стоматологического и медико-профилактического факультетов медицинских вузов. Типы и содержание задач соответствуют действующим в настоящее время программам по химии для медицинских вузов, а также подобраны в русле требований ФГОС-3 ВПО.

Пособие может быть использовано студентами и преподавателями биологических специальностей немедицинских и нехимических вузов, а также медучилищ, колледжей.

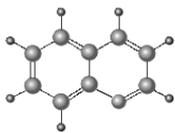
**ISBN 978-5-222-22839-5**

УДК 54(075.8)

ББК 04.1я73

© Литвинова Т. Н., 2014

© Оформление: ООО «Феникс», 2014



## ВВЕДЕНИЕ

*Химия — один из столпов, на которые должна опираться врачебная наука.*

**Парацельс**

*Медик без довольного познания химии совершен быть не может.*

**М.В. Ломоносов**

В стандартах третьего поколения курсы общей и биоорганической химии объединены в единый курс химии. Однако именно общая химия призвана обеспечить:

- фундаментальную общехимическую подготовку молодежи с медицинской ориентацией и формирование у них химической картины природы в общем контексте естествознания и медицины;
- развитие логики и интеллектуальных умений у студентов для дальнейшего освоения фундаментальных теоретических и клинических дисциплин;
- умение прогнозировать основные химические свойства веществ, возможность протекания химических процессов разного типа;
- осознание студентами значения химических знаний и умений во всей их последующей профессиональной медицинской деятельности.

Потребность в подобном пособии по общей химии с медико-биологической направленностью диктуется необходимостью новых практико-ориентированных требований к подготовке специалистов в области здравоохранения и в пополнении имеющегося комплекса учебно-методических материалов по общей химии.

Особенности пособия заключаются в том, что задания выбраны применительно не к отдельному понятию или закону, а к комплексу знаний; расчетные задачи сгруппированы по модульному принципу, что соответствует содержанию важнейших тем курса общей химии для медицинских вузов. Модульный подход, использованный в построении данного пособия, имеет неоспоримые преимущества в том, что дает возможность препода-

вателю и студентам использовать его в соответствии с любыми учебными планами, при любой последовательности изучения курса, принятой в конкретном вузе, гибко варьируя модули задач. В начале каждого модуля даны примеры решения типовых задач, а ко всем задачам для самостоятельного решения приведены ответы, что позволяет студентам научиться правильно решать и обеспечивает самоконтроль их действий.

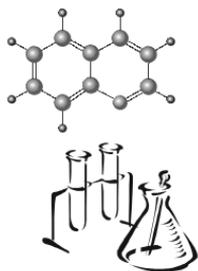
В последнюю примерную программу по химии не вошел материал по количественному анализу, однако автор считает необходимым включить модуль «Основы количественного анализа», так как все разделы общей химии опираются на количественные характеристики растворов.

Важная задача сборника — показать, как глубоко связана химия с медициной, экологией и повседневной жизнью. Необходимые для полноценного усвоения общей химии типовые и комплексные химические задачи по своему содержанию имеют профессиональную медицинскую направленность, т.е. обеспечивают профессионализацию данного курса в медицинском вузе.

В пособие включены расчетные задачи разной степени сложности — как типовые, так и комплексные, что дает возможность преподавателю учитывать развивающую функцию решения задач, которая формирует рациональные приемы мышления, устраняет формализм знаний, прививает навыки самоконтроля и развивает самостоятельность, а также дифференцировать работу со студентами, отбирать задачи для их самостоятельной работы, для факультативных занятий.

Сборник задач выполняет обучающую, самоорганизующую, контролирующую и прикладную функции, дает возможность студенту самому оценить уровень сформированности различных умений, развить собственную инициативу и познавательную активность по решению разнообразных химических задач.

Данное пособие может быть также использовано студентами и преподавателями как медицинских, так и немедицинских вузов естественнонаучного профиля, медицинских училищ и колледжей.



## МОДУЛЬ

### «ОСНОВЫ КОЛИЧЕСТВЕННОГО АНАЛИЗА»

#### Основные понятия, определения, формулы

**Раствор** — гомогенная система переменного состава, состоящая из двух и более независимых компонентов и продуктов их взаимодействия.

**Растворитель** — компонент, агрегатное состояние которого не изменяется при образовании раствора. При одинаковых агрегатных состояниях компонентов растворителем считают то вещество, содержание которого в растворе больше.

**Растворенное вещество** — компонент, молекулы или ионы которого равномерно распределены в объеме растворителя.

**Концентрация вещества** (компонента раствора) — физическая величина, размерная или безразмерная, измеряемая количеством (массой) растворенного вещества, содержащегося в определенной массе, объеме раствора или массе растворителя.

#### Способы выражения концентрации растворов

Параметр	Обозначение, единицы измерения	Смысловое значение
Массовая доля вещества в растворе	$\omega(X) = \frac{m(X)}{m_{\text{р-ра}}}, \text{ доли}$ $\omega(X) = \frac{m(X) \cdot 100\%}{m_{\text{р-ра}}},$ проценты	Отношение массы растворенного вещества к массе раствора

Параметр	Обозначение, единицы измерения	Смысловое значение
Моль	$n(v)$	Количество вещества, которое содержит столько молекул (атомов) этого вещества, сколько атомов содержится в 12 г (0,012 кг) углерода С
Молярная масса вещества	$M(X) = \frac{m(X)}{n(X)}$	Масса 1 моль вещества X, численно равная отношению массы вещества X к количеству вещества X
Количество вещества	$n(v)$ , моль $n = \frac{m(X)}{M(X)}$	Количество вещества равно отношению массы вещества к его молярной массе
Молярная концентрация	$c(X) = \frac{n(X)}{V_{p-ра}} =$ $= \frac{m(X)}{M(X) \cdot V_{p-ра}},$ моль/м <sup>3</sup> , моль/л	Отношение количества вещества X, содержащегося в растворе, к объему этого раствора
Осмолярность	$c_{осм} = \frac{m}{M} \cdot n \cdot 1000$ , где $m$ – содержание вещества в растворе, г/л; $M$ – молярная масса вещества, г/моль; $n$ – количество частиц, образующихся при растворении вещества; для неэлектролитов $n = 1$ ; 1000 – коэффициент перевода осмоль в миллиосмоль	Осмотическая концентрация, которая выражается количеством осмоль или миллиосмоль растворенного вещества в 1 л раствора

Параметр	Обозначение, единицы измерения	Смысловое значение
Эквивалент	—	Это частица (условная или реальная), которая может отдавать, присоединять или как-то иначе быть равноценной 1 иону водорода в кислотно-основных реакциях, а в окислительно-восстановительных реакциях — 1 электрону
Фактор эквивалентности	$f_{\text{экв}} = 1/z$ , где $z$ — число эквивалентов вещества, содержащихся в 1 моль этого вещества	Число, показывающее, какая часть реальной частицы вещества эквивалентна одному иону водорода в кислотно-основной реакции или одному электрону в окислительно-восстановительной реакции
Количество вещества эквивалента	$n(1/zX)$ , моль	Количество вещества, условной структурной единицей которого является эквивалент
Молярная масса эквивалента вещества	$M(1/zX) =$ $= f_{\text{экв}} \cdot M(X)$ , г/моль	Масса 1 моль эквивалента вещества
Молярная концентрация эквивалента	$c(1/zX)$ , $c(1/zX) =$ $= \frac{m(X)}{f(X) \cdot M(X) \cdot V_{\text{р-ра}}}$ , моль/м <sup>3</sup> , моль/л	Отношение количества вещества эквивалента в растворе к объему этого раствора
Моляльная концентрация	$c(X) = \frac{n(X)}{m_{\text{р-ля}}} =$ $= \frac{m(X)}{M(X) \cdot m_{\text{р-ля}}}$ , моль/кг	Отношение количества вещества к массе растворителя

Параметр	Обозначение, единицы измерения	Смысловое значение
Молярная доля вещества	$N(X) = \frac{n(X)}{\sum n_i}$	Отношение количества вещества компонента X к общему количеству всех веществ в системе
Титр раствора	$T(X) = \frac{m(X)}{V}, \text{ г/мл}$	Масса вещества X, содержащегося в 1 мл раствора
Массо-объемная концентрация	$P(X) = \frac{m(X)}{V}, \text{ г/л}$	Масса вещества X, содержащегося в 1 л раствора
Массо-объемная процентная концентрация	$P(X) = \frac{m(X)}{V} = \frac{n \cdot M(X)}{V}, \text{ г/100 мл}$	Показывает, сколько г вещества содержится в 100 мл раствора
Жесткость воды $J_{\text{общ}}$	$J_{\text{общ}} = \frac{m(\text{Ca}^{2+})}{M(1/2\text{Ca}^{2+}) \cdot V} + \frac{m(\text{Mg}^{2+})}{M(1/2\text{Mg}^{2+}) \cdot V},$ где $V$ – объем воды	Совокупность свойств, обусловленных содержанием в воде $\text{Ca}^{2+}$ и $\text{Mg}^{2+}$ . Жесткость воды ( $J_{\text{общ}}$ ) определяется молярной концентрацией эквивалента ионов $\text{Ca}^{2+}$ и $\text{Mg}^{2+}$ в миллимоль на 1 л воды
Предельно допустимая концентрация загрязняющих веществ	ПДК, мг/л, мг/м <sup>3</sup>	Максимальное содержание загрязняющих веществ в единице объема воздуха или воды, которое при ежедневном воздействии на организм человека не вызывает патологических изменений или заболеваний, а также не нарушает нормальной жизнедеятельности

## Связи между способами выражения концентрации

Массовая доля	$\omega = \frac{c(X) \cdot M(X)}{\rho \cdot 10} = \frac{c(1/zX) \cdot M(1/zX)}{\rho \cdot 10} =$ $= \frac{T(X) \cdot 100}{\rho}$
Молярная концентрация	$c(X) = \frac{\omega(X) \cdot \rho \cdot 10}{M(X)} = c(1/zX) \cdot f_{\text{экв}} =$ $= \frac{T(X) \cdot 1000}{M(X)}$
Молярная концентрация эквивалента	$c(1/zX) = \frac{\omega(X) \cdot \rho \cdot 10}{M(1/zX)} = \frac{c(X)}{f_{\text{экв}}} = \frac{T(X) \cdot 1000}{M(1/zX)}$
Титр	$T(X) = \frac{\omega(X) \cdot \rho}{100} = \frac{c(X) \cdot M(X)}{1000} =$ $= \frac{c(1/zX) \cdot M(1/zX)}{1000}$
Моляльная концентрация	$c(X) = \frac{\omega(X) \cdot 1000}{(100 - \omega(X)) \cdot M(X)}$
Массо-объемная процентная концентрация	$P(X) = c(X) \cdot M(X)$

## Закон эквивалентов

В химических реакциях числа моль эквивалентов всех веществ, вступивших в реакцию и образовавшихся в ней, всегда равны между собой. Для произвольной реакции  $aA + bB = cC + dD$  закон эквивалентов имеет следующие математические выражения:

$$1) n(1/zA) = n(1/zB) = n(1/zC) = n(1/zD);$$

$$2) \frac{m(A)}{f(A) \cdot M(A)} = \frac{m(B)}{f(B) \cdot M(B)} = \frac{m(C)}{f(C) \cdot M(C)} = \frac{m(D)}{f(D) \cdot M(D)};$$

$$3) c(1/z_A) \cdot V(A) = c(1/z_B) \cdot V(B);$$

$$4) \frac{m(A)}{f(A) \cdot M(A)} = \frac{m(B)}{f(B) \cdot M(B)};$$

$$5) \frac{m(A)}{f(A) \cdot M(A)} = c(1/z_B) \cdot V(B);$$

$$6) m(A) = \frac{c(1/z_B) \cdot V(B)}{V_{\text{пробы}}(A)} \cdot M(1/z_A) \cdot V_{\text{колбы}} \cdot 10^{-3}.$$

**Закон эквивалентов лежит в основе титриметрического анализа.**

**Титриметрический (объемный) анализ** — метод количественного анализа, основанный на точном измерении объема раствора реагента, израсходованного на эквивалентное взаимодействие с определяемым веществом.

**Определяемое вещество** — химический элемент, простое или сложное вещество, содержание которого определяют в данном образце.

**Титрование** — это контролируемое добавление раствора реагента известной концентрации к анализируемой системе с целью установления количественного содержания определяемого вещества. В процессе титрования определяют состояние эквивалентности.

**Состояние эквивалентности** — это такое состояние, при котором число моль эквивалентов одного реагента (титранта) равно числу моль эквивалентов второго реагента (определяемого вещества). Состояние эквивалентности при титровании обычно определяют с помощью индикатора или с помощью физико-химических методов анализа.

**Титрант, или стандартный раствор**, — раствор аналитического реагента с точно известной концентрацией, применяемый для нахождения количественного содержания определяемого вещества в растворе.

**Первичный стандартный раствор (исходный)** — это раствор, приготовленный из стандартного (установочного) вещества, концентрация которого известна по массе этого вещества в определенном объеме раствора.

**Рабочий раствор** (вторичный стандартный раствор) — это раствор, концентрация которого установлена стандартизацией.

## Обучающие задачи с решением

**1.** Рассчитайте, какое количество вещества содержат:

а) 53 г карбоната натрия; б) 24,5 г серной кислоты; в) 15 г бензола?

**Решение.**

Из формулы  $n(X) = \frac{m(X)}{M(X)}$ , которая устанавливает связь между количеством вещества и его массой, находим:

$$\text{а) } n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{53 \text{ г } (\text{Na}_2\text{CO}_3)}{106 \text{ г/моль } (\text{Na}_2\text{CO}_3)} = 0,5 \text{ моль};$$

$$\text{б) } n(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{24,5 \text{ г } (\text{H}_2\text{SO}_4)}{98 \text{ г/моль } (\text{H}_2\text{SO}_4)} = 0,25 \text{ моль};$$

$$\text{в) } n(\text{C}_6\text{H}_6) = \frac{15 \text{ г } (\text{C}_6\text{H}_6)}{78 \text{ г/моль } (\text{C}_6\text{H}_6)} = 0,192 \text{ моль}.$$

*Ответ:* а) 0,5 моль; б) 0,25 моль; в) 0,192 моль.

**2.** Вычислите массу вещества, содержащуюся в заданном количестве вещества: а) 2,5 моль HCl; б) 0,1 моль AgNO<sub>3</sub>.

**Решение.**

Из формулы  $n(X) = \frac{m(X)}{M(X)}$ , которая устанавливает связь между количеством вещества и его массой, находим:

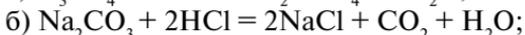
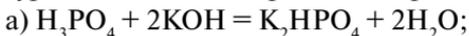
$$m(X) = n(X) \cdot M(X);$$

$$\text{а) } m(\text{HCl}) = 2,5 \text{ моль} \cdot 36,5 \text{ г/моль} = 91,25 \text{ г};$$

$$\text{б) } m(\text{AgNO}_3) = 0,1 \text{ моль} \cdot 170 \text{ г/моль} = 17,0 \text{ г}.$$

*Ответ:*  $m(\text{HCl}) = 91,25 \text{ г}$ ;  $m(\text{AgNO}_3) = 17,0 \text{ г}$ .

**3.** Определите фактор эквивалентности вещества, указанного в уравнениях и схеме реакций первым:



**Решение.**

**Эквивалент** — это частица (условная или реальная), которая может отдавать, присоединять или как-то иначе быть равноценной 1 иону водорода в кислотно-основных реакциях, а в окислительно-восстановительных реакциях — 1 электрону.

Число, показывающее, какую долю реальной частицы (молекулы, атома, иона) составляет эквивалент, называется **фактором эквивалентности**.

Значение фактора эквивалентности определяется природой реагирующих веществ и характером данной реакции:

а)  $f(\text{H}_3\text{PO}_4) = 1/2$ , так как происходит замещение двух ионов водорода в ортофосфорной кислоте;

б)  $f(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 1/2$ , так как замещается два иона натрия, что равноценно замещению двух ионов водорода;

в)  $f(\text{KMnO}_4) = 1/5$ , так как  $\text{MnO}_4^- + 5\text{e} + 8\text{H}^+ \rightarrow \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$ , частица окислителя присоединяет 5 электронов.

*Ответ:*  $f(\text{H}_3\text{PO}_4) = 1/2$ ,  $f(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 1/2$ ,  $f(\text{KMnO}_4) = 1/5$ .

**4.** Определите факторы эквивалентности оксидов: а)  $\text{K}_2\text{O}$ ; б)  $\text{SO}_3$ ; в)  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

**Решение.**

Для определения факторов эквивалентности оксидов можно использовать их реакции с водой или кислотами, основаниями.

а)  $\text{K}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} = 2\text{KOH}$ , из уравнения видно, что из одного моль оксида образуется 2 моль гидроксида, т.е. 2 моль эквивалентов KOH, следовательно, фактор эквивалентности  $\text{K}_2\text{O}$  равен  $1/2$ ;

б)  $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{SO}_4$ , из одного моль оксида образуется 1 моль кислоты, но 2 моль эквивалента кислоты, следовательно, фактор эквивалентности  $\text{SO}_3$  равен  $1/2$ ;

в)  $P_2O_5 + 3H_2O = 2H_3PO_4$ , из 1 моль оксида образуется 2 моль кислоты, но 6 моль эквивалентов кислоты, следовательно, фактор эквивалентности  $P_2O_5$  равен  $1/6$ .

*Ответ:* а)  $1/2$ ; б)  $1/2$ ; в)  $1/6$ .

**5.** Определите молярную массу эквивалентов вещества гидроксида натрия, уксусной кислоты, а также серной кислоты, если  $f(H_2SO_4)$  равен  $1/2$ .

**Решение.**

Молярная масса эквивалента вещества — это масса 1 моль эквивалентов данного вещества и выражается в г/моль. Рассчитывается по формуле:

$$M_{\text{экв}}(X) = f(X) \cdot M(X);$$

$$M_{\text{экв}}(H_2SO_4) = 1/2 \cdot 98 = 49 \text{ г/моль.}$$

Для одноокислотных оснований и одноосновных кислот фактор эквивалентности всегда равен 1, поэтому:

$$M_{\text{экв}}(NaOH) = M(NaOH) = 40 \text{ г/моль;}$$

$$M_{\text{экв}}(CH_3COOH) = M(CH_3COOH) = 60 \text{ г/моль.}$$

*Ответ:*  $M_{\text{экв}}(H_2SO_4) = 49 \text{ г/моль; } M_{\text{экв}}(NaOH) = 40 \text{ г/моль; } M_{\text{экв}}(CH_3COOH) = 60 \text{ г/моль.}$

**6.** Рассчитайте молярную массу эквивалента вещества гидроксида кальция в реакции неполного обмена гидроксид-ионов.

**Решение.**

По условию задачи  $Ca(OH)_2$  участвует в реакции неполного обмена  $OH^-$ -ионов:  $Ca(OH)_2 + HCl = CaOHCl + H_2O$ .

Следовательно,  $f(Ca(OH)_2) = 1$  (эквивалентом является реальная частица).

Молярная масса эквивалента вещества рассчитывается по формуле:  $M_{\text{экв}}(Ca(OH)_2) = 1 \cdot 74 \text{ г/моль} = 74 \text{ г/моль.}$

*Ответ:*  $M_{\text{экв}}(Ca(OH)_2) = 74 \text{ г/моль.}$

**7.** Вычислите количество вещества и количество вещества эквивалентов в заданной массе вещества: а) 0,49 г  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ; б) 16,0 г  $\text{NaOH}$ ; в) 39,0 г  $\text{Na}_2\text{S}$ ; г) 53,0 г  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .

**Решение.**

$$n(\text{X}) = \frac{m(\text{X})}{M(\text{X})}; \quad n_{\text{эк}}(\text{X}) = \frac{m(\text{X})}{f(\text{X}) \cdot M(\text{X})};$$

$$\text{а) } n(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{0,49 \text{ г}}{98 \text{ г/МОЛЬ}} = 0,005 \text{ моль};$$

$$n_{\text{экв}}(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{0,49}{98 \cdot 1/2} = 0,01 \text{ моль};$$

$$\text{б) } n(\text{NaOH}) = \frac{16,0 \text{ г}}{40 \text{ г/МОЛЬ}} = 0,4 \text{ моль};$$

$$n_{\text{экв}}(\text{NaOH}) = \frac{16,0}{40 \cdot 1} = 0,4 \text{ моль};$$

$$\text{в) } n(\text{Na}_2\text{S}) = \frac{39 \text{ г}}{78 \text{ г/МОЛЬ}} = 0,5 \text{ моль};$$

$$n_{\text{экв}}(\text{Na}_2\text{S}) = \frac{39,0}{78 \cdot 1/2} = 1 \text{ моль};$$

$$\text{г) } n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{53 \text{ г}}{106 \text{ г/МОЛЬ}} = 0,5 \text{ моль};$$

$$n_{\text{экв}}(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{53}{106 \cdot 1/2} = 1 \text{ моль}.$$

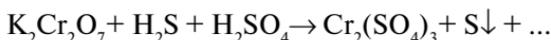
*Ответ:* а)  $n(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,005$  моль;  $n_{\text{экв}}(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,01$  моль;

б)  $n(\text{NaOH}) = 0,4$  моль;  $n_{\text{экв}}(\text{NaOH}) = 0,4$  моль;

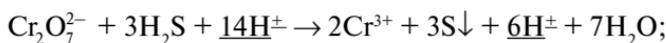
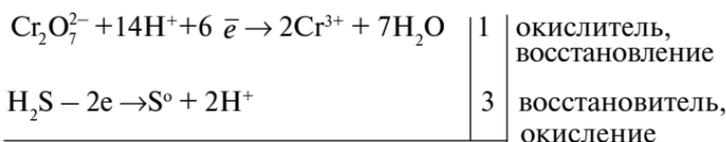
в)  $n(\text{Na}_2\text{S}) = 0,5$  моль;  $n_{\text{экв}}(\text{Na}_2\text{S}) = 1$  моль;

г)  $n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,5$  моль;  $n_{\text{экв}}(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 1$  моль.

**8.** Закончите уравнение ОВР, подберите коэффициенты электронно-ионным методом, рассчитайте молярные массы эквивалентов окислителя и восстановителя в реакции:



**Решение.**

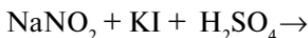


$$f_{\text{эKB}}(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = \frac{1}{6}; \quad M\left(\frac{1}{6} \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7\right) = 292 \cdot \frac{1}{6} = 49 \text{ г/моль};$$

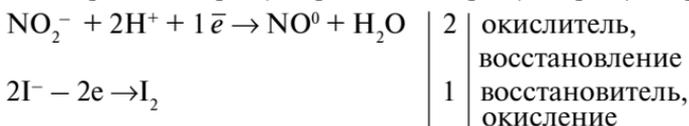
$$f_{\text{эKB}}(\text{H}_2\text{S}) = \frac{1}{2}; \quad M\left(\frac{1}{2} \text{H}_2\text{S}\right) = 34 \cdot \frac{1}{2} = 17 \text{ г/моль}.$$

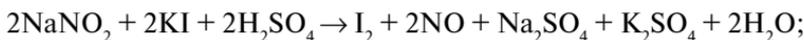
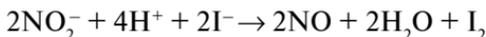
*Ответ:*  $M_{\text{эKB}}(\text{ок-ля}) = 49 \text{ г/моль}$ ;  $M_{\text{эKB}}(\text{в-ля}) = 17 \text{ г/моль}$ .

**9.** Закончите уравнение ОВР, подберите коэффициенты электронно-ионным методом, рассчитайте молярные массы эквивалентов окислителя и восстановителя в реакции:



**Решение.**





$$f_{\text{ЭКВ}}(\text{NaNO}_2) = 1; \quad M_{\text{ЭКВ}}(\text{NaNO}_2) = 69 \cdot 1 = 69 \text{ г/моль};$$

$$f_{\text{ЭКВ}}(\text{KI}) = 1; \quad M_{\text{ЭКВ}}(\text{KI}) = 166 \cdot 1 = 166 \text{ г/моль}.$$

*Ответ:*  $M_{\text{ЭКВ}}(\text{ок-ля}) = 69 \text{ г/моль}; M_{\text{ЭКВ}}(\text{в-ля}) = 166 \text{ г/моль}.$

**10.** Рассчитайте массовую долю хлорида натрия в растворе, если 40 г соли растворили в 280 мл воды.

**Решение.**

$$\omega(\text{NaCl}) = \frac{m(\text{NaCl})}{m_{\text{р-ра}}} \cdot 100\%.$$

Масса раствора складывается из массы соли и массы воды:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = V(\text{H}_2\text{O}) \cdot \rho(\text{H}_2\text{O}) = 280 \text{ мл} \cdot 1 \text{ г/мл} = 280 \text{ г};$$

$$m_{\text{р-ра}} = m(\text{NaCl}) + m(\text{H}_2\text{O}) = 40 + 280 = 320 \text{ г}.$$

$$\omega(\text{NaCl}) = \frac{40}{320} \cdot 100\% = 12,5\%.$$

*Ответ:* 12,5%, или 0,125.

**11.** Определите, какие объемы хлороводорода (н.у.) и воды необходимы для приготовления 500 г раствора с массовой долей HCl, равной 20%.

**Решение.**

$$m(\text{HCl}) = \omega(\text{HCl}) \cdot m_{\text{р-ра}} = 0,2 \cdot 500 = 100 \text{ г};$$

$$V(\text{HCl}) = n(\text{HCl}) \cdot V_m = \frac{100 \text{ г}}{36,5 \text{ г/моль}} \cdot 22,4 \text{ л/моль} = 61,37 \text{ л};$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = m_{\text{р-ра}} - m(\text{HCl}) = 500 - 100 = 400 \text{ г}.$$

Так как плотность воды равна 1 г/мл, то  $V(\text{H}_2\text{O}) = 400 \text{ мл}.$

*Ответ:*  $V(\text{HCl}) = 61,37 \text{ л}, V(\text{H}_2\text{O}) = 400 \text{ мл}.$

**12.** В медицинской практике применяют водные растворы перманганата калия разной концентрации. Рассчитайте массу  $\text{KMnO}_4$  и объем воды, необходимые для приготовления 100 г 3%-ного раствора перманганата калия.

**Решение.**

$$\omega(\text{KMnO}_4) = \frac{m(\text{KMnO}_4)}{m_{\text{р-ра}}} \Rightarrow m(\text{KMnO}_4) = \omega \cdot m_{\text{р-ра}};$$

$$m(\text{KMnO}_4) = 0,03 \cdot 100 = 3 \text{ г};$$

$$m_{\text{р-ра}} = m(\text{KMnO}_4) + m(\text{H}_2\text{O}) \Rightarrow$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = m_{\text{р-ра}} - m(\text{KMnO}_4);$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 100 - 3 = 97 \text{ г};$$

$$V(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{\rho(\text{H}_2\text{O})} = 97 \text{ см}^3 = 97 \text{ мл} = 0,097 \text{ л}.$$

$$\text{Ответ: } m(\text{KMnO}_4) = 3 \text{ г}; V(\text{H}_2\text{O}) = 0,097 \text{ л}.$$

**13.** Какова массовая доля глюкозы в растворе, полученном растворением 25 г глюкозы в 100 мл воды?

**Решение.**

$$m(\text{H}_2\text{O}) = \rho(\text{H}_2\text{O}) \cdot V(\text{H}_2\text{O}) = 1 \text{ г/мл} \cdot 100 \text{ мл} = 100 \text{ г};$$

$$m(\text{р-ра}) = m(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) + m(\text{H}_2\text{O}) = 25 \text{ г} + 100 \text{ г} = 125 \text{ г};$$

$$\omega(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = \frac{m(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)}{m_{\text{р-ра}}} \cdot 100\% = \frac{25 \text{ г}}{125 \text{ г}} \cdot 100\% = 20\%.$$

$$\text{Ответ: } \omega(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 20\%.$$

**14.** В 500 мл воды растворили 50 г серной кислоты ( $\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = 100\%$ ). Плотность полученного раствора – 1,08 г/мл. Рассчитайте  $P(\text{H}_2\text{SO}_4)$  и процент кислоты.

**Решение.**

$$P(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{m(\text{H}_2\text{SO}_4)}{V};$$

$$V_{\text{р-ра}} = \frac{m_{\text{р-ра}}}{\rho_{\text{р-ра}}} = \frac{m(\text{H}_2\text{O}) + m(\text{H}_2\text{SO}_4)}{1,08} = \frac{500 \cdot 1 + 50}{1,08} = 509 \text{ мл};$$

$$P(\text{H}_2\text{SO}_4) = 50/0,509 = 98,1 \text{ г/л};$$

$$\%(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98,1 \cdot 0,1 = 9,81;$$

$$\text{Ответ: } P(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98,1 \text{ г/л}; 9,81\%.$$

**15.** Вычислите массу (г) и количество (моль) растворенного вещества, содержащегося в заданной массе раствора с указанной массовой долей вещества: а) 200 г 8,4%-ного раствора  $\text{NaHCO}_3$ ; б) 300 г 11,1%-ного раствора  $\text{CaCl}_2$ .

**Решение.**

$$\omega = \frac{m(\text{X})}{m_{\text{р-ра}}} \cdot 100\% \Rightarrow m(\text{X}) = \frac{\omega \cdot m_{\text{р-ра}}}{100\%}; \quad n(\text{X}) = \frac{m(\text{X})}{M(\text{X})};$$

$$\text{а) } m(\text{NaHCO}_3) = \frac{8,4 \cdot 200}{100} = 16,8 \text{ г};$$

$$n(\text{NaHCO}_3) = \frac{16,8 \text{ г}}{84 \text{ г/моль}} = 0,2 \text{ моль};$$

$$\text{б) } m(\text{CaCl}_2) = \frac{11,1 \cdot 300}{100} = 33,3 \text{ г};$$

$$n(\text{CaCl}_2) = \frac{33,3 \text{ г}}{111 \text{ г/моль}} = 0,3 \text{ моль}.$$

$$\text{Ответ: а) } m(\text{NaHCO}_3) = 16,8 \text{ г}; n(\text{NaHCO}_3) = 0,2 \text{ моль};$$

$$\text{б) } m(\text{CaCl}_2) = 33,3 \text{ г}; n(\text{CaCl}_2) = 0,3 \text{ моль}.$$

**16.** В 250 мл дистиллированной воды растворили 50 г кристаллогидрата  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ . Определите массовую долю кристаллогидрата и безводного сульфата железа(II) в растворе.

**Решение.**

Масса полученного раствора:  $250 \text{ г} + 50 \text{ г} = 300 \text{ г}$ .

Массовая доля кристаллогидрата:

$$\omega = \frac{m(X)}{m_{\text{р-ра}}} \cdot 100\% = \frac{50 \cdot 100}{300} = 16,7\%.$$

Масса безводной соли в 50 г кристаллогидрата:

$$50 \cdot 152/278 = 27,4 \text{ г}.$$

Массовая доля безводной соли в 300 г раствора:

$$\omega(\text{FeSO}_4) = \frac{m(\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) \cdot M(\text{FeSO}_4) \cdot 100\%}{M(\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) \cdot m_{\text{р-ра}}},$$

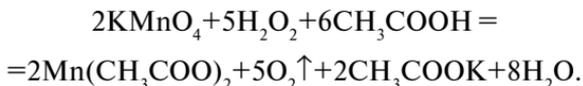
$$\omega(\text{FeSO}_4) = \frac{50 \text{ г} \cdot 152 \text{ г/моль} \cdot 100\%}{278 \text{ г/моль} \cdot 300 \text{ г}} = 9,1\%.$$

*Ответ:*  $\omega(\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) = 16,7\%$ ,  $\omega(\text{FeSO}_4) = 9,1\%$ .

**17.** Концентрированные растворы  $\text{KMnO}_4$  вызывают ожоги слизистой оболочки полости рта, пищевода, желудка. В качестве «противоядия» при таких ожогах используют раствор, в 1 л которого содержится 50 мл 3%-ного раствора пероксида водорода и 100 мл 3%-ного водного раствора уксусной кислоты. Рассчитайте объем газа (н.у.), который выделяется при обработке 0,158 г  $\text{KMnO}_4$  избытком такого раствора.

**Решение.**

Химизм процесса выражается уравнением:



Ионы  $\text{Mn}^{2+}$  менее опасны по сравнению с ионами  $\text{MnO}_4^-$ .

По уравнению:  $n(\text{O}_2) = 2,5 \cdot n(\text{KMnO}_4)$ , где

$$n(\text{KMnO}_4) = \frac{m(\text{KMnO}_4)}{M(\text{KMnO}_4)} = \frac{0,158 \text{ г}}{158 \text{ г/моль}} = 0,001 \text{ моль};$$

$$n(\text{O}_2) = 2,5 \cdot 0,001 = 0,0025 \text{ моль (н.у.);}$$

$$V(\text{O}_2) = V_m \cdot n(\text{O}_2) = 22,4 \text{ л/моль} \cdot 0,0025 \text{ моль} = 0,056 \text{ л.}$$

*Ответ:*  $V(\text{O}_2) = 0,056 \text{ л.}$

**18.** Рассчитайте объемы 2,5%-ного раствора  $\text{KMnO}_4$  ( $\rho = 1,017 \text{ г/мл}$ ) и воды, которые нужно взять для приготовления 40 мл 0,05%-ного раствора ( $\rho = 1,003 \text{ г/мл}$ ).

**Решение.**

Из формулы разбавления  $\omega_1 \cdot \rho_1 \cdot V_1 = \omega_2 \cdot \rho_2 \cdot V_2$  находим:

$$V_2(\text{р-ра } \text{KMnO}_4) = \frac{\omega_1 \cdot \rho_1 \cdot V_1}{\rho_2 \cdot V_2} = \frac{0,05 \cdot 1,003 \cdot 40}{2,5 \cdot 1,017} = 0,8 \text{ мл};$$

$$V(\text{H}_2\text{O}) = \frac{\rho_1 \cdot V_1 - \rho_2 \cdot V_2}{\rho(\text{H}_2\text{O})} = \frac{40 \cdot 1,003 - 0,8 \cdot 1,017}{1} = 39 \text{ мл.}$$

*Ответ:*  $V(\text{H}_2\text{O}) = 39 \text{ мл}; V(\text{KMnO}_4) = 0,8 \text{ мл.}$

**19.** Йодную настойку обычно считают спиртовым раствором йода. На самом деле она содержит 5 г йода, 2 г йодида калия и 50 мл 96%-го этилового спирта на каждые 50 мл воды. Для этого в йодную настойку добавляют йодид калия? Дело в том, что йод в воде почти нерастворим, а йодид калия образует с йодом хорошо растворимый комплекс  $\text{K}[\text{I}(\text{I}_2)]$ . Часто формулу этого комплекса изображают в упрощенном виде —  $\text{K}[\text{I}_3]$ . Этиловый спирт еще больше повышает растворимость йода. Рассчитайте массу йода, который может быть «связан» с помощью 1,66 г йодида калия, если степень превращения йода в растворимый комплекс ( $\alpha$ ) составляет 10%.

**Решение.**

Уравнение образования комплекса:  $I_2 + KI \rightleftharpoons K[I(I_2)]$ .

Количество KI равно:  $n(KI) = \frac{m(KI)}{M(KI)} = \frac{1,66}{166,0} = 0,01$  моль.

Количество KI, вступившего в реакцию:

$$n(KI) \cdot \alpha = 0,01 \cdot 0,1 = 0,001 \text{ моль} = n(I_2).$$

Следовательно:

$$m(I_2) = n(I_2) \cdot M(I_2) = 0,001 \text{ (моль)} \cdot 254 \text{ (г/моль)} = 0,254 \text{ г.}$$

*Ответ:*  $m(I_2) = 0,254$  г.

**20.** Для смазывания десен приготовлен раствор из 5 мл 30%-ного раствора  $H_2O_2$  и 15 мл дистиллированной воды. Рассчитайте массовую долю  $H_2O_2$  в полученном растворе ( $\rho_{p-ра} = 1$  г/мл).

**Решение.**

$$\omega_1 \cdot \rho_1 \cdot V_1 = \omega_2 \cdot \rho_2 \cdot V_2;$$

$$\omega_2(H_2O_2) = \frac{\omega_1 \cdot \rho_1 \cdot V_1}{\rho_2 \cdot V_2} = \frac{30\% \cdot 1 \cdot 5}{1 \cdot 20} = 7,5\%.$$

*Ответ:*  $\omega_2(H_2O_2) = 7,5\%$ .

**21.** К 50 мл раствора с массовой долей серной кислоты 48% ( $\rho = 1,38$  г/мл) добавили 950 г воды. Какова массовая доля серной кислоты в полученном растворе?

**Решение.**

Масса исходного раствора серной кислоты составляет:

$$m_1(p-ра H_2SO_4) = V_1 \cdot \rho_1 = 50 \cdot 1,38 = 69 \text{ г.}$$

В исходном растворе

$$m_1(H_2SO_4) = \frac{\omega_1 \cdot \rho_1 \cdot V_1}{100\%} = \frac{48\% \cdot 1,38 \cdot 50}{100\%} = 33,12 \text{ г.}$$

В полученном растворе масса серной кислоты не изменится, а изменится ее массовая доля:

$$\omega_2(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{m_1(\text{H}_2\text{SO}_4)}{m_1(\text{H}_2\text{SO}_4) + m(\text{H}_2\text{O})} \cdot 100\% = \frac{33,12}{69 + 950} \cdot 100\% = 3,2\%.$$

*Ответ:* 3,2%.

**22.** Из 200 мл раствора с массовой долей сульфата меди 8% ( $\rho = 1,1$  г/мл) выпарили 100 г воды. Какова массовая доля сульфата меди в полученном растворе?

**Решение.**

Масса растворенного вещества после выпаривания остается неизменной, а масса раствора  $m_{2(\text{р-ра})}$  уменьшилась на 100 г:

$$m_{2(\text{р-ра})} = m_{1(\text{р-ра})} \cdot \rho_1 - 100 \text{ г} = 200 \cdot 1,1 - 100 = 220 - 100 = 120 \text{ г}.$$

Масса соли в исходном растворе составила:

$$m(\text{CuSO}_4) = 220 \cdot 0,08 = 17,6 \text{ г}.$$

$$\omega_2(\text{CuSO}_4) = \frac{m(\text{CuSO}_4)}{m_{2(\text{р-ра})}} \cdot 100\% = \frac{17,6}{120} \cdot 100\% = 14,7\%.$$

*Ответ:*  $\omega(\text{CuSO}_4) = 14,7\%$  (в полученном растворе).

**23.** Смешали 100 мл раствора с массовой долей азотной кислоты 10% ( $\rho = 1,05$  г/мл) и 150 мл раствора с массовой долей азотной кислоты 20% ( $\rho = 1,12$  г/мл). Определите массовую долю азотной кислоты в полученном растворе.

**Решение.**

Массы смешиваемых растворов равны:

$$m_{1(\text{р-ра})} = V_1 \cdot \rho_1 = 100 \text{ мл} \cdot 1,05 \text{ г/мл} = 105 \text{ г};$$

$$m_{2(\text{р-ра})} = V_2 \cdot \rho_2 = 150 \text{ мл} \cdot 1,12 \text{ г/мл} = 168 \text{ г}.$$

Масса полученного раствора равна:

$$m_{3(\text{р-ра})} = m_{1(\text{р-ра})} + m_{2(\text{р-ра})} = 105 + 168 = 273 \text{ г}.$$

Массы азотной кислоты в смешиваемых растворах равны:

$$m_1(\text{HNO}_3) = 105 \cdot 0,1 = 10,5 \text{ г};$$

$$m_2(\text{HNO}_3) = 168 \cdot 0,2 = 33,6 \text{ г}.$$

Общая масса  $m_3(\text{HNO}_3)$  составляет:  $10,5 + 33,6 = 44,1 \text{ г}$ .

$$\omega_3(\text{HNO}_3) = \frac{m_3(\text{HNO}_3)}{m_3(\text{р-ра})} \cdot 100\% = \frac{44,1}{273} \cdot 100\% = 16,2\%.$$

*Ответ:*  $\omega(\text{HNO}_3)$  в полученном растворе 16,2%.

**24.** В дистиллированной воде растворили 2,52 г кристаллической щавелевой кислоты ( $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Вычислите молярную концентрацию щавелевой кислоты в полученном растворе, если его объем равен 200 мл.

**Решение.**

$$c(\text{X}) = \frac{m(\text{X})}{M(\text{X}) \cdot V(\text{л})} = \frac{m(\text{X}) \cdot 1000}{M(\text{X}) \cdot V(\text{мл})};$$

$$c(\text{щ.к.}) = \frac{2,52 \text{ г} \cdot 1000}{126 \text{ г/моль} \cdot 200 \text{ мл}} = \frac{2,52 \text{ г}}{126 \text{ г/моль} \cdot 0,2 \text{ л}} = 0,1 \text{ моль/л}.$$

*Ответ:*  $c(\text{щ.к.}) = 0,1 \text{ моль/л}$ .

**25.** Содержание ионов  $\text{K}^+$  в сыворотке крови в норме колеблется от 16 до 19 мг%. Вычислите концентрацию ионов  $\text{K}^+$  в сыворотке крови в ммоль/л ( $\rho = 1,025 \text{ г/мл}$ ).

**Решение.**

$$c(\text{X}) = \frac{m(\text{X})}{M(\text{X}) \cdot V(\text{л})};$$

$$V_{\text{сыв.}} = \frac{m_{\text{сыв. крови}}}{\rho_{\text{сыв. крови}}} = \frac{100 \text{ г}}{1,025 \text{ г/мл}} = 97,6 \text{ мл} = 0,0976 \text{ л};$$

$$c(\text{K}^+) = \frac{(16 \div 19) \cdot 10^{-3} \text{ г}}{39 \text{ г/моль} \cdot 0,0976 \text{ л}} = (4,2 \div 5,0) \cdot 10^{-3} \text{ моль/л} = \\ = 4,2 \div 5,0 \text{ ммоль/л.}$$

*Ответ:*  $c(\text{K}^+) = 4,2 \div 5,0 \text{ ммоль/л.}$

**26.** В 600 г воды растворили 100 л бромоводорода (н.у.). Рассчитайте молярную концентрацию бромоводорода в полученном растворе, если  $\rho = 1,15 \text{ г/мл}$ .

**Решение.**

$$n(\text{HBr}) = 100/22,4 = 4,464 \text{ моль};$$

$$m(\text{HBr}) = n(\text{HBr}) \cdot M(\text{HBr}) = 4,464 \text{ моль} \cdot 81 \text{ г/моль} = 361,58 \text{ г};$$

$$m(\text{р-ра}) = m(\text{H}_2\text{O}) + m(\text{HBr}) = 600 + 361,58 = 961,58 \text{ г};$$

$$V(\text{р-ра}) = m(\text{р-ра})/\rho = 961,58/1,15 = 836,2 \text{ мл} = 0,836 \text{ л};$$

$$c(\text{HBr}) = n(\text{HBr})/V(\text{р-ра}) = 4,464 \text{ моль}/0,836 \text{ л} = 5,34 \text{ моль/л.}$$

*Ответ:*  $c(\text{HBr}) = 5,34 \text{ моль/л.}$

**27.** Смешали 350 мл раствора с концентрацией  $\text{HCl}$  0,2751 М ( $\rho = 1,0032 \text{ г/мл}$ ) и 500 мл раствора с концентрацией  $\text{HCl}$  0,5529 моль/л ( $\rho = 1,0082 \text{ г/мл}$ ). Вычислите молярную концентрацию  $\text{HCl}$  в полученном растворе.

**Решение.**

Количество вещества  $\text{HCl}$  в первом растворе равно:

$$n_1 = c \cdot V = 0,2751 \text{ моль/л} \cdot 0,35 \text{ л} = 0,0963 \text{ моль.}$$

Количество вещества  $\text{HCl}$  во втором растворе равно:

$$n_2 = c \cdot V = 0,5529 \text{ моль/л} \cdot 0,5 \text{ л} = 0,2765 \text{ моль.}$$

Общее количество вещества  $\text{HCl}$  равно  $n_1 + n_2$ :

$$0,0963 \text{ моль} + 0,2765 \text{ моль} = 0,3728 \text{ моль.}$$

Масса смешанных растворов составляет:

$$350 \text{ мл} \cdot 1,0032 \text{ г/мл} + 500 \text{ мл} \cdot 1,0082 \text{ г/мл} = 855,2 \text{ г.}$$

Примем, что плотность смешанного раствора  $\approx 1,006$  г/мл, тогда общий объем раствора равен 860,3 мл, или 0,860 л.

Молярная концентрация полученного раствора:

$$c = \frac{n}{V} = \frac{0,3728 \text{ моль}}{0,860 \text{ л}} = 0,4435 \text{ моль/л.}$$

Ответ:  $c(\text{HCl}) = 0,4435$  моль/л.

**28.** Вычислите, сколько г растворенного вещества содержится в заданном объеме раствора с указанной молярной концентрацией: а) 150 мл 0,5М  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ; б) 200 мл 0,1М  $\text{KOH}$ .

**Решение.**

$$c(\text{X}) = \frac{m(\text{X}) \cdot 1000}{M(\text{X}) \cdot V_{\text{р-ра}} (\text{мл})} \Rightarrow m(\text{X}) = \frac{c(\text{X}) \cdot M(\text{X}) \cdot V_{\text{р-ра}}}{1000};$$

$$\text{а) } m(\text{CH}_3\text{COOH}) = \frac{0,5 \cdot 60 \cdot 150}{1000} = 4,5 \text{ г;}$$

$$\text{б) } m(\text{KOH}) = \frac{0,1 \cdot 40 \cdot 200}{1000} = 0,8 \text{ г.}$$

Ответ: а)  $m(\text{CH}_3\text{COOH}) = 4,5$  г; б)  $m(\text{KOH}) = 0,8$  г.

**29.** Действие водного раствора, содержащего 1 г гидроперита в 200 мл, будет таким же, как если бы взяли 1 ст. ложку (15 мл) 3%-ного раствора пероксида водорода на стакан воды. Рассчитайте: а) количество пероксида водорода (моль) в растворе, который получается при внесении одной таблетки гидроперита массой 1 г в стакан с водой емкостью 200 мл; б) молярную концентрацию  $\text{H}_2\text{O}_2$  в полученном растворе. Гидроперит – комплексное соединение пероксида водорода с карбамидом (мочевинной) состава  $(\text{NH}_2)_2\text{CO} \cdot \text{H}_2\text{O}_2$ .

**Решение.**

В растворе:  $(\text{NH}_2)_2\text{CO} \cdot \text{H}_2\text{O}_2 = (\text{NH}_2)_2\text{CO} + \text{H}_2\text{O}_2$ ;

$$n(\text{H}_2\text{O}_2) = n(\text{компл.}) = \frac{m(\text{компл.})}{M(\text{компл.})} = \frac{1}{94} = 0,0106 \text{ моль;}$$

$$c(\text{H}_2\text{O}_2) = \frac{n(\text{H}_2\text{O}_2)}{V_{\text{р-ра}}} = \frac{0,0106}{0,2} = 0,053 \text{ моль/л.}$$

*Ответ:*  $n(\text{H}_2\text{O}_2) = 0,0106$  моль;  $c(\text{H}_2\text{O}_2) = 0,053$  моль/л.

**30.** В 1,5 л раствора содержится 8,55 г алюмокалиевых квасцов  $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ . Рассчитайте: а) молярную массу эквивалента соли в реакции:  $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O} + 3\text{KOH} = \text{Al}(\text{OH})_3 + 2\text{K}_2\text{SO}_4 + 12\text{H}_2\text{O}$ ; б) молярную концентрацию эквивалента алюмокалиевых квасцов в растворе для указанной выше реакции.

**Решение.**

Определяем  $f_{\text{экв}}$  квасцов: одна молекула алюмокалиевых квасцов реагирует с тремя гидроксид-ионами и, следовательно, эквивалентна трем ионам водорода:

$$f(\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}) = \frac{1}{3}.$$

Молярную массу эквивалента соли рассчитываем по формуле:

$$M\left(\frac{1}{3} \text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}\right) = M \cdot f = \frac{1}{3} \cdot 474,4 = 158,1 \text{ г/моль.}$$

Молярную концентрацию эквивалента соли определяем по формуле:

$$c\left(\frac{1}{3} \text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}\right) = \frac{m \text{ (квасцов)}}{M\left(\frac{1}{3} \text{квасцов}\right) \cdot V};$$

$$c\left(\frac{1}{3} \text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}\right) = \frac{8,55}{158,1 \cdot 1,5} = 0,036 \text{ (моль/л).}$$

*Ответ:*  $M\left(\frac{1}{3} \text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}\right) = 158,1$  г/моль;

$$c\left(\frac{1}{3} \text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}\right) = 0,036 \text{ моль/л.}$$

**31.** Рассчитайте массу навески декагидрата карбоната натрия, необходимую для приготовления 100,0 мл раствора с молярной концентрацией эквивалента соли 0,05 моль/л.

**Решение.**

Определяем фактор эквивалентности соли:

$$f(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = \frac{1}{2}, \text{ т.к. замещается два катиона натрия.}$$

Рассчитываем массу соли, используя формулу

$$c_{\text{экв}}(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{соли}) \cdot 1000}{M(\text{соли}) \cdot f(\text{соли}) \cdot V};$$

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = \frac{c_{\text{экв}}(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) \cdot M(\text{соли}) \cdot f(\text{соли}) \cdot V}{1000};$$

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = \frac{0,05 \cdot 286 \cdot \frac{1}{2} \cdot 100}{1000} = 0,715 \text{ (г).}$$

*Ответ:*  $m(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = 0,715 \text{ г.}$

**32.** В 180 г воды растворили 9,8 г  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Определите молярную концентрацию и молярную долю серной кислоты в растворе.

**Решение.**

$$c_m(X) = \frac{n(X)}{m_{\text{р-ля}}} = \frac{m(X)}{M(X) \cdot m_{\text{р-ля}} \text{ (кг)}} = \frac{m(X) \cdot 1000}{M(X) \cdot m_{\text{р-ля}} \text{ (г)}};$$

$$n(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{9,8 \text{ г}}{98 \text{ г/моль}} = 0,1 \text{ моль};$$

$$c_m(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{0,1 \text{ моль}}{0,180 \text{ кг}} = 0,556 \text{ моль/кг.}$$

$$N(X) = \frac{n(X)}{\sum n_i};$$

$$n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{180 \text{ г}}{18 \text{ г/моль}} = 10 \text{ моль};$$

$$N(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{0,1}{10 + 0,1} = 0,0099.$$

*Ответ:* моляльная концентрация  $\text{H}_2\text{SO}_4$  равна 0,556 моль/кг; молярная доля  $\text{H}_2\text{SO}_4$  равна 0,0099.

**33.** Рассчитайте титр раствора, полученного растворением 0,5 г NaCl в 500 мл воды ( $\rho_{\text{(р-ра)}} = 1 \text{ г/мл}$ ).

**Решение.**

$$T(X) = \frac{m(X)}{V_{\text{р-ра}} (\text{мл})};$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = \rho(\text{H}_2\text{O}) \cdot V(\text{H}_2\text{O}) = 500 \text{ г};$$

$$m(\text{р-ра}) = m(\text{H}_2\text{O}) + m(\text{NaCl}) = 500 + 0,5 = 500,5 \text{ г};$$

$$V(\text{р-ра}) = \frac{m}{\rho} = 500,5 \text{ мл};$$

$$T(\text{NaCl}) = \frac{0,5 \text{ г}}{500,5 \text{ мл}} = 0,00099 \text{ г/мл}.$$

*Ответ:*  $T(\text{NaCl}) = 0,00099 \text{ г/мл}$ .

**34.** Какой объем раствора с молярной концентрацией  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , равной 0,1М, можно приготовить из 75 мл раствора с молярной концентрацией эквивалента  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , равной 0,75 н. ( $f(\text{H}_3\text{PO}_4) = 1/3$ )?

**Решение.**

Определяем молярную концентрацию  $\text{H}_3\text{PO}_4$  в исходном растворе:

$$c_1(\text{H}_3\text{PO}_4) = f(\text{H}_3\text{PO}_4) \cdot c(1/3\text{H}_3\text{PO}_4);$$

$$c_1(\text{H}_3\text{PO}_4) = 1/3 \cdot 0,75 = 0,25 \text{ моль/л} = 0,25 \text{ М}.$$

По формуле разбавления находим объем 0,1 М раствора  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , который можно приготовить из 75 мл 0,25 М  $\text{H}_3\text{PO}_4$ :

$$c_1(\text{H}_3\text{PO}_4) \cdot V_1(\text{H}_3\text{PO}_4) = c_2(\text{H}_3\text{PO}_4) \cdot V_2(\text{H}_3\text{PO}_4);$$

$$V_2(\text{H}_3\text{PO}_4) = \frac{c_1(\text{H}_3\text{PO}_4) \cdot V_1(\text{H}_3\text{PO}_4)}{c_2(\text{H}_3\text{PO}_4)};$$

$$V_2(\text{H}_3\text{PO}_4) = \frac{0,25 \cdot 0,75}{0,1} = 187,50 \text{ мл.}$$

*Ответ:*  $V_2(\text{H}_3\text{PO}_4) = 187,50 \text{ мл.}$

**35.** В медицинской практике часто пользуются 0,9%-ным раствором  $\text{NaCl}$  ( $\rho = 1 \text{ г/мл}$ ). Вычислите: а) молярную концентрацию и титр этого раствора; б) массу соли, введенную в организм при вливании 400 мл этого раствора.

**Решение.**

$$c(\text{X}) = \frac{\omega \cdot \rho \cdot 10}{M(\text{X})}; \quad T = \frac{c(\text{X}) \cdot M(\text{X})}{1000}; \quad T(\text{X}) = \frac{m(\text{X})}{V_{\text{р-ра}}(\text{мл})};$$

$$c(\text{NaCl}) = \frac{0,9 \cdot 1 \cdot 10}{58,5} = 0,154 \text{ моль/л};$$

$$T(\text{NaCl}) = \frac{0,154 \cdot 58,5}{1000} = 0,00900 \text{ г/мл};$$

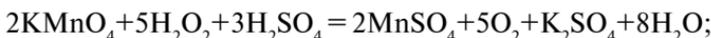
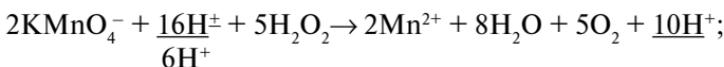
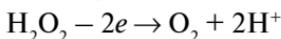
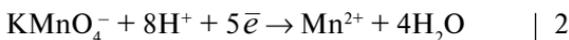
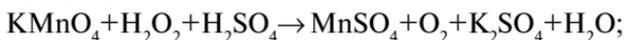
$$m(\text{NaCl}) = 0,00900 \text{ г/мл} \cdot 400 \text{ мл} = 3,6 \text{ г.}$$

*Ответ:*  $c(\text{NaCl}) = 0,154 \text{ моль/л}; T(\text{NaCl}) = 0,00900 \text{ г/мл};$   
 $m(\text{NaCl}) = 3,6 \text{ г.}$

**36.** Молярная концентрация окислителя в растворе равна 0,02 моль/л. Определите молярную концентрацию эквивалента окислителя, принимая во внимание химизм реакции:



**Решение.**



$\text{KMnO}_4$  – окислитель,  $f_{\text{экв окислителя}} = \frac{1}{5}$ ;

$$c_{\text{экв}}(\text{KMnO}_4) = \frac{c(\text{KMnO}_4)}{f_{\text{экв}}(\text{KMnO}_4)} = \frac{0,02}{1/5} = 0,1 \text{ моль/л.}$$

*Ответ:*  $c_{\text{экв}}(\text{KMnO}_4) = 0,1 \text{ моль/л.}$

**37.** Сколько миллилитров концентрированной соляной кислоты с массовой долей 38% и плотностью, равной 1,19 г/мл, следует взять для приготовления 1,0 л 2 н. HCl?

**Решение.**

Рассчитываем молярную концентрацию HCl в концентрированном растворе по формуле:

$$c(\text{HCl}) = \frac{10 \cdot \omega(\text{HCl}) \cdot \rho}{M(\text{HCl})};$$

$$c(\text{HCl}) = \frac{10 \cdot 38,1 \cdot 1,19}{36,5} = 12,39 \text{ моль/л.}$$

Так как кислота HCl одноосновная, то  $f(\text{HCl}) = 1$  и молярная концентрация эквивалента (HCl) равна молярной концентрации (HCl).

Используя закон разбавления, определяем объем концентрированного раствора HCl:

$$c_1(\text{HCl}) \cdot V_1(\text{HCl}) = c_2(\text{HCl}) \cdot V_2(\text{HCl}) \Rightarrow$$

$$V_1(\text{HCl}) = \frac{c_2(\text{HCl}) \cdot V_2(\text{HCl})}{c_1(\text{HCl})};$$

$$V_1(\text{HCl}) = \frac{1000 \cdot 2}{12,39} = 161,40 \text{ мл.}$$

Ответ:  $V(\text{HCl}) = 161,40 \text{ мл.}$

**38.** Рассчитайте массу кристаллического хлорида натрия, которая необходима для приготовления 250 мл раствора с молярной концентрацией хлорида натрия 0,8 М. Выразите концентрацию приготовленного раствора через массовую долю и титр, если известно, что его плотность равна 1,027 г/мл.

**Решение.**

Из формулы  $c(\text{NaCl}) = \frac{m(\text{NaCl})}{M(\text{NaCl}) \cdot V}$  находим массу соли:

$$m(\text{NaCl}) = c(\text{NaCl}) \cdot M(\text{NaCl}) \cdot V;$$

$$m(\text{NaCl}) = 0,8 \cdot 58,5 \cdot 0,25 = 11,7 \text{ г.}$$

Титр раствора рассчитываем по формуле:

$$T(\text{NaCl}) = \frac{m(\text{NaCl})}{V(\text{мл})}; \quad T(\text{NaCl}) = \frac{11,7}{250} = 0,04680 \text{ г/мл.}$$

Определяем массовую долю NaCl:

$$\omega(\text{NaCl}) = \frac{m(\text{NaCl}) \cdot 100}{\rho \cdot V_{\text{р-ра}}};$$

$$\omega(\text{NaCl}) = \frac{11,7 \cdot 100}{1,027 \cdot 250} = 4,56\%.$$

Ответ:  $m(\text{NaCl}) = 11,7 \text{ г}; T(\text{NaCl}) = 0,04680 \text{ г/мл};$   
 $\omega(\text{NaCl}) = 4,56\%.$

**39.** При отравлениях цианидами внутривенно вводят раствор с массовой долей нитрита натрия 2% ( $\rho = 1,011$  г/мл). Рассчитайте молярную концентрацию и титр соли в этом растворе.

**Решение.**

$$c(\text{NaNO}_2) = \frac{\omega(\text{X}) \cdot \rho \cdot 10}{M(\text{X})} = \frac{2 \cdot 1,011 \cdot 10}{69} = 0,2930 \text{ моль/л.}$$

$$T(\text{NaNO}_2) = T(\text{X}) = \frac{\omega(\text{NaNO}_2) \cdot \rho}{100} = \frac{2 \cdot 1,011}{100} = 0,02022 \text{ г/мл.}$$

*Ответ:*  $c(\text{NaNO}_2) = 0,2930$  М,  $T(\text{NaNO}_2) = 0,02022$  г/мл.

**40.** На титрование 10,00 мл 0,1 н. раствора тетрабората натрия пошло 9,60 мл раствора HCl (среднее значение). Вычислите молярную концентрацию HCl в растворе.

**Решение.**

Записываем математическое выражение закона эквивалентов:

$$c(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl}) = c\left(\frac{1}{2} \text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}\right) \cdot V(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}).$$

Вычисляем  $c(\text{HCl})$  по формуле:

$$c(\text{HCl}) = \frac{V(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) \cdot c\left(\frac{1}{2} \text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}\right)}{V_{\text{ср}}(\text{HCl})};$$

$$c(\text{HCl}) = \frac{0,1 \cdot 10,00}{9,60} = 0,1042 \text{ моль/л.}$$

*Ответ:*  $c(\text{HCl}) = 0,1042$  моль/л.

**41.** Навеска КОН растворена в мерной колбе на 200 мл. Вычислите массу КОН в растворе, если на титрование 10,00 мл этого раствора израсходовано 12,40 мл раствора HCl с  $T(\text{HCl}) = 0,00420$  г/мл.

**Решение.**

Выражаем  $T(\text{HCl})$  через  $c(\text{HCl})$  по формуле:

$$T(\text{HCl}) = \frac{c(\text{HCl}) \cdot M(\text{HCl})}{1000}, \text{ отсюда}$$

$$c(\text{HCl}) = \frac{T(\text{HCl}) \cdot 1000}{M(\text{HCl})};$$

$$c(\text{HCl}) = \frac{0,00420 \cdot 1000}{36,5} = 0,1151 \text{ моль/л.}$$

Вычисляем  $c(\text{KOH})$ , используя закон эквивалентов:

$$c(\text{HCl}) \cdot V_{\text{пип}}(\text{HCl}) = c(\text{KOH}) \cdot V_{\text{пип}}(\text{KOH}),$$

где  $V_{\text{пип}}(\text{KOH})$  — объем раствора KOH, взятый для титрования;  
 $V_{\text{пип}}(\text{HCl})$  — объем раствора HCl, пошедший на эквивалентное взаимодействие с KOH.

$$c(\text{KOH}) = \frac{c(\text{HCl}) \cdot V_{\text{пип}}(\text{HCl})}{V_{\text{пип}}(\text{KOH})};$$

$$c(\text{KOH}) = \frac{0,1151 \cdot 12,40}{10,00} = 0,1427 \text{ моль/л.}$$

Вычисляем массу KOH, содержащуюся в 200 мл раствора, используя формулу:

$$c(\text{KOH}) = \frac{m(\text{KOH}) \cdot 1000}{M(\text{KOH}) \cdot V_{\text{р-ра}}};$$

$$m(\text{KOH}) = \frac{c(\text{KOH}) \cdot M(\text{KOH}) \cdot V_{\text{р-ра}}}{1000};$$

$$m(\text{KOH}) = \frac{0,1427 \cdot 56 \cdot 200}{1000} = 1,5982 \text{ (г).}$$

*Ответ:*  $m(\text{KOH}) = 1,5982 \text{ г.}$

**42.** Рассчитайте массовую долю KOH в исследуемом растворе, если на титрование навески KOH массой 0,8864 г, содержащей индифферентные примеси, израсходовано 30,60 мл 0,5M раствора HCl.

**Решение.**

Записываем закон эквивалентов и вычисляем массу KOH:

$$\frac{m(\text{KOH})}{M(\text{KOH})} = \frac{c(\text{HCl}) \cdot V_{\text{тит}}(\text{HCl})}{1000} \Rightarrow$$

$$m(\text{KOH}) = \frac{c(\text{HCl}) \cdot V_{\text{тит}}(\text{HCl}) \cdot M(\text{KOH})}{1000},$$

где  $V_{\text{тит}}(\text{HCl})$  — объем раствора HCl, пошедший на титрование.

$$m(\text{KOH}) = \frac{0,5 \cdot 30,60 \cdot 56}{1000} = 0,8568 \text{ г.}$$

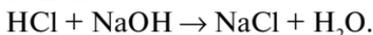
Вычисляем массовую долю KOH в навеске:

$$\omega(\text{KOH}) = \frac{m(\text{KOH}) \cdot 100\%}{m_{\text{навески}}(\text{KOH})}; \quad \omega(\text{KOH}) = \frac{0,8568 \cdot 100}{0,8864} = 96,66\%.$$

*Ответ:*  $\omega(\text{KOH}) = 96,66\%$ .

**43.** Рассчитайте молярную концентрацию эквивалента и титр HCl в растворе, если на титрование 2,0 мл исследуемого раствора пошло 3,0 мл 0,02 н. раствора NaOH.

**Решение.**



По закону эквивалентов:

$$c_{\text{экр}}(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl}) = c_{\text{экр}}(\text{NaOH}) \cdot V(\text{NaOH});$$

$$c_{\text{экр}}(\text{HCl}) = c(\text{HCl}), \text{ так как } f_{\text{экр}}(\text{HCl}) = 1;$$

$$c(\text{HCl}) = \frac{c(\text{NaOH}) \cdot V(\text{NaOH})}{V(\text{HCl})} = \frac{0,02 \cdot 3}{2} = 0,03 \text{ моль/л};$$

$$T(\text{HCl}) = \frac{c(\text{HCl}) \cdot M(\text{HCl})}{1000};$$

$$T(\text{HCl}) = \frac{0,03 \cdot 36,5}{1000} = 0,00110 \text{ г/мл}.$$

*Ответ:*  $c(\text{HCl}) = 0,03 \text{ моль/л}; T(\text{HCl}) = 0,00110 \text{ г/мл}.$

**44.** Чему равна масса декагидрата тетрабората натрия (бурь), если на титрование его раствора затрачено 15,1 мл соляной кислоты с молярной концентрацией  $c(\text{HCl}) = 0,103$  моль/л?

**Решение.**



по закону эквивалентов:  $\frac{m(\text{бурь})}{M_{\text{эКВ}}(\text{бурь})} = c_{\text{эКВ}}(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl});$

$$f_{\text{эКВ}}(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = \frac{1}{2};$$

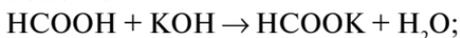
$$m(\text{бурь}) = M(\text{бурь}) \cdot f_{\text{эКВ}} \cdot c(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl});$$

$$m(\text{бурь}) = 382 \cdot \frac{1}{2} \cdot 0,103 \cdot 15,1 \cdot 10^{-3} = 0,297 \text{ г.}$$

*Ответ:*  $m(\text{бурь}) = 0,297$  г.

**45.** Проба муравьиной кислоты массой 2,32 г разбавлена водой в мерной колбе вместимостью 100 мл. На титрование 10,0 мл разбавленного раствора затрачено 7,2 мл титранта с концентрацией  $c(\text{KOH}) = 0,150$  моль/л. Рассчитайте массовую долю муравьиной кислоты в исходном растворе.

**Решение.**



$$c_{\text{эКВ}}(\text{НСООН}) = \frac{7,2 \cdot 0,15}{10} = 0,108 \text{ моль/л};$$

$$c_{\text{эКВ}}(\text{НСООН}) = c(\text{НСООН}), \text{ так как } f_{\text{эКВ}}(\text{НСООН}) = 1;$$

$$c(\text{НСООН}) = \frac{m}{M \cdot V} \Rightarrow m = c \cdot M \cdot V;$$

$$m(\text{НСООН}) = 0,108 \cdot 46 \cdot 0,1 = 0,497 \text{ г};$$

$$\omega(\text{НСООН}) = \frac{m}{m_{\text{пробы}}} \cdot 100\%;$$

$$\omega(\text{HCOOH}) = \frac{0,497}{2,32} \cdot 100\% = 21,4\%.$$

*Ответ:*  $\omega(\text{HCOOH}) = 21,4\%$ .

**46.** В сточной воде находятся ионы  $\text{Be}^{2+}$  (0,003 моль/л). Во сколько раз необходимо разбавить сточную воду, чтобы ее можно было сливать в водоем?

**Решение.**

Содержание вредных примесей в воде, сливаемой в водоем, не должно превышать предельно допустимую концентрацию (ПДК), которая составляет для  $\text{Be}^{2+}$  0,0002 мг/л.

В соответствии с условием концентрация ионов  $\text{Be}^{2+}$  равна:

$$0,003 \text{ моль/л} \cdot 9 \text{ г/моль} = 0,027 \text{ г/л} = 27 \text{ мг/л};$$

для достижения ПДК необходимо разбавить воду:

$$27:0,0002 = 135\,000 \text{ раз.}$$

*Ответ:* сточную воду необходимо разбавить в 135 000 раз.

**47.** Анализ воды показал, что в ней содержатся гидрокарбонат кальция  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  массой 1386 мг, хлорид кальция  $\text{CaCl}_2$  массой 610 мг, хлорид натрия  $\text{NaCl}$  массой 480 мг. Объем воды составил 5 л. Определите общую жесткость  $J_0$ , карбонатную  $J_k$ , некарбонатную  $J_{\text{нк}}$ .

**Решение.**

Общая жесткость воды  $J_0$  – это суммарная концентрация ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ , выраженная в ммоль-экв/л:

$$J_0 = \frac{m_1}{M_{\text{э}1} \cdot V} + \frac{m_2}{M_{\text{э}2} \cdot V} + \dots,$$

где  $m_1$ ,  $m_2$  – массы катионов  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  в воде или соответствующих им солей;

$M_{э1}, M_{э2}$  — молярные массы эквивалентов катионов  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  или соответствующих им солей (г/моль);

$V$  — объем воды, л.

Молярные массы солей, обуславливающих жесткость воды:

$M(\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2) = 162,1$  г/моль;  $M(\text{CaCl}_2) = 111,0$  г/моль.

$$M_{\text{экв}} = f_{\text{экв}} \cdot M, \text{ где } f_{\text{экв}} = \frac{1}{2}.$$

Общую жесткость воды можно рассчитать по формуле:

$$\begin{aligned} \text{Ж}_o &= \frac{m(\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2)}{M_3 \cdot V} + \frac{m(\text{CaCl}_2)}{M_3 \cdot V} = \frac{1386}{81 \cdot 5} + \frac{610}{55,5 \cdot 5} = \\ &= 5,5 \text{ ммоль-экв/л.} \end{aligned}$$

Карбонатная жесткость — часть  $\text{Ж}_o$ , обусловленная содержанием в воде гидрокарбонатов кальция и магния:

$$\text{Ж}_к = \frac{m(\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2)}{M_3 \cdot V} = \frac{1386}{81 \cdot 5} = 3,42 \text{ ммоль-экв/л.}$$

Некарбонатная жесткость  $\text{Ж}_{\text{нк}}$  обусловлена содержанием в ней соли хлорида кальция:

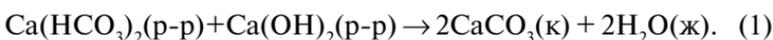
$$\text{Ж}_{\text{нк}} = \frac{m(\text{CaCl}_2)}{M_3 \cdot V} = \frac{610}{55,5 \cdot 5} = 2,2 \text{ ммоль-экв/л.}$$

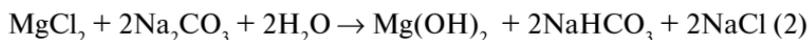
*Ответ:* жесткость общая равна 5,5 ммоль-экв/л, карбонатная — 3,42 ммоль-экв/л, некарбонатная — 2,2 ммоль-экв/л.

**48.** На умягчение 10 л воды израсходовано  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  массой 3,7 г и  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  массой 1,06 г. Рассчитайте общую жесткость ( $\text{Ж}_o$ ) исходной воды. Составьте уравнения процессов умягчения воды.

**Решение.**

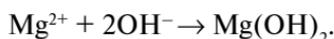
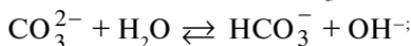
При добавлении в воду извести  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  снижается карбонатная жесткость воды:





**ОБЩАЯ ХИМИЯ:** задачи с медико-биологической направленностью

При добавлении в воду соды  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  снижается некарбонатная жесткость воды:



По уравнению (1) рассчитываем количество и массу  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ :

$$n(\text{Ca}(\text{OH})_2) = \frac{m}{M} = \frac{3,7}{74} = 0,05 \text{ моль};$$

$$n(\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2) = n(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 0,05 \text{ моль};$$

$$m(\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2) = 0,05 \cdot 162 = 8,1 \text{ г}.$$

По уравнению (2) рассчитываем количество и массу  $\text{MgCl}_2$ :

$$n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{m}{M} = \frac{1,06}{106} = 0,01 \text{ моль};$$

$$n(\text{MgCl}_2) = n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,01 \text{ моль};$$

$$m(\text{MgCl}_2) = 0,01 \cdot 95 = 0,95 \text{ г}.$$

Общую жесткость рассчитываем по уравнению:

$$\begin{aligned} \text{Ж}_o &= \frac{m(\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2)}{M_3 \cdot V} + \frac{m(\text{MgCl}_2)}{M_3 \cdot V} = \frac{8,1}{81,0 \cdot 150} + \frac{0,95}{47,6 \cdot 150} = \\ &= 0,00134 \text{ ммоль-экв/л, или } 1,34 \text{ ммоль-экв/л,} \end{aligned}$$

$$\text{где } M_{\text{экв}}(\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2) = M \cdot f_{\text{экв}} = 162 \cdot \frac{1}{2} = 81 \text{ г/моль};$$

$$M_{\text{экв}}(\text{MgCl}_2) = M \cdot f_{\text{экв}} = 95 \cdot \frac{1}{2} = 47,6 \text{ г/моль}.$$

*Ответ:* общая жесткость исходной воды равна 1,34 ммоль-экв/л.

**49.** Определите общую ( $\text{Ж}_o$ ), карбонатную ( $\text{Ж}_k$ ) и некарбонатную ( $\text{Ж}_{\text{нк}}$ ) жесткость воды, если на титрование ее 100 мл по-

требовалось 8 мл 0,1 н. раствора трилона Б и 5 мл 0,1 н. раствора соляной кислоты.

**Решение.**

Общую ( $J_o$ ) и карбонатную ( $J_k$ ) жесткость воды можно определить методом титрования. Для определения  $J_o$  производится комплексометрическое титрование пробы анализируемой воды раствором двузамещенной натриевой соли этилендиаминтетрауксусной кислоты ( $Na_2ЭДТА$  или трилон Б) в щелочной среде (рН-8) в присутствии индикатора (хром темно-синий, в аналитической практике данный индикатор называется «эриохром черный Т»). Фиксируется переход окраски воды из розовой в голубую. Карбонатная жесткость ( $J_k$ ) определяется кислотно-основным титрованием воды раствором соляной кислоты в присутствии индикатора (метилового оранжевого), фиксируется переход желтой окраски в оранжевую.

Расчет общей и карбонатной жесткости воды ведется по закону эквивалентов:

$$J_o = \frac{V_T \cdot c_{\text{экв}} \cdot 1000}{V_B}, \text{ ммоль-экв/л,}$$

где  $V_B$  – объем анализируемой пробы воды, мл;

$V_T$  – объем титранта, мл;

$c_{\text{экв}}$  – молярная концентрация эквивалента титрующего раствора, моль/л.

$$J_o = \frac{8 \cdot 0,1 \cdot 1000}{100} = 8 \text{ ммоль-экв/л;}$$

$$J_k = \frac{5 \cdot 0,1 \cdot 1000}{100} = 5 \text{ ммоль-экв/л;}$$

некарбонатная жесткость составила разность между общей и карбонатной жесткостью:

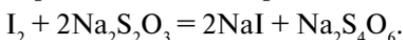
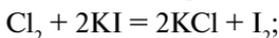
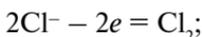
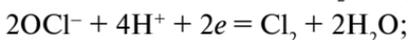
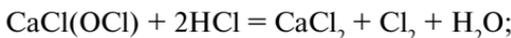
$$J_{\text{нк}} = J_o - J_k = 8 - 5 = 3 \text{ ммоль-экв/л.}$$

*Ответ:* жесткость общая равна 8 ммоль-экв/л; карбонатная – 5 ммоль-экв/л; некарбонатная – 3 ммоль-экв/л.

**50.** В мерную колбу вместимостью 250,0 мл поместили навеску белильной извести массой 3,359 г и добавили воды до метки. На йодометрическое титрование 25,00 мл полученного раствора потребовалось 18,29 мл раствора тиосульфата натрия с  $T(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 0,02453$  г/мл. Вычислите массовую долю (%) активного хлора в белильной извести.

**Решение.**

Записываем уравнения реакций:



Рассчитываем молярную концентрацию  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ :

$$c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = \frac{T \cdot 1000}{M};$$

$$c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = \frac{0,02453 \cdot 1000}{248} = 0,09891 \text{ моль/л.}$$

Вычисляем массу и массовую долю активного хлора:

$$m(\text{Cl}_2) = \frac{c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) \cdot V(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) \cdot M(1/2\text{Cl}_2) \cdot V_{\text{колбы}} (\text{л})}{V_{\text{пипетки}}};$$

$$m(\text{Cl}_2) = \frac{0,09891 \cdot 18,29 \cdot 35,5 \cdot 250}{25,00 \cdot 1000} = 0,642 \text{ г};$$

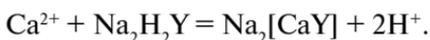
$$\omega(\text{Cl}_2) = \frac{m(\text{Cl}_2)}{m_{\text{навески}}} \cdot 100\%; \quad \omega(\text{Cl}_2) = \frac{0,642 \cdot 100}{3,359} = 19,12\%.$$

**Ответ:**  $\omega(\text{Cl}_2) = 19,12\%$ .

**51.** При комплексонометрическом анализе раствора хлорида кальция, применяемого в медицине для инъекций, к 10 мл раствора прибавили 90 мл воды и получили 100 мл исходного анализируемого раствора. На прямое титрование 10,00 мл исходного анализируемого раствора в среде аммиачного буфера израсходовали 8,67 мл стандартного 0,05 моль/л раствора ЭДТА. Определите массу кальция в исходном анализируемом растворе и массу  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  в 1 мл раствора для инъекций.

**Решение.**

Записываем уравнение реакции:



Используя закон эквивалентов, определяем массу кальция в исходном анализируемом растворе по формуле:

$$m(\text{Ca}^{2+}) = \frac{c(\text{ЭДТА}) \cdot V(\text{ЭДТА}) \cdot M(\text{Ca}) \cdot V_{\text{к}}}{V_{\text{мл}} \cdot 1000} \quad (\text{г});$$

$$m(\text{Ca}^{2+}) = \frac{0,05 \cdot 8,67 \cdot 40,08 \cdot 100}{10 \cdot 1000} = 0,1737 \quad (\text{г}).$$

Определяем массу  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , содержащуюся в 1 мл раствора для инъекций. Так как в 10 мл раствора для инъекций содержится 0,1737 г  $\text{Ca}^{2+}$  (это в 100 мл анализируемого раствора), то в 1 мл раствора для инъекций будет содержаться 0,01737 г  $\text{Ca}^{2+}$ .

В 219,08 г  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  содержится 40 г  $\text{Ca}^{2+}$ ,  
а в  $x$  г  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  содержится 0,01737 г  $\text{Ca}^{2+}$ .

$$x = \frac{219,08 \cdot 0,01737}{40} = 0,0951 \quad \text{г.}$$

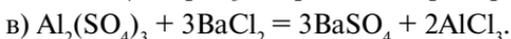
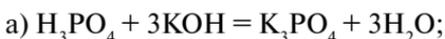
*Ответ:*  $m(\text{Ca}^{2+}) = 0,1737$  г;  $m(\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) = 0,0951$  г.

## Задания для самостоятельного решения

**1.** Вычислите массу вещества, содержащегося в заданном количестве вещества: а) 2 моль  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ; б) 0,5 моль глюкозы.

*Ответ:* а)  $m(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 148$  г; б)  $m(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 90$  г.

**2.** Определите фактор эквивалентности вещества, указанно-го в уравнениях и схеме реакции первым:



*Ответ:* а)  $f(\text{H}_3\text{PO}_4) = 1/3$ ; б)  $f(\text{KMnO}_4) = 1/3$ ;

в)  $f(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3) = 1/6$ .

**3.** Чему равен фактор эквивалентности сероводорода в реакции:

а) с недостатком гидроксида калия, продукт — кислая соль;

б) с избытком гидроксида натрия, продукт — средняя соль;

в) с раствором сульфата меди;

г) с раствором йода, продукт — сера;

д) с раствором  $\text{KMnO}_4$ , продукт —  $\text{SO}_2$ ;

е) с азотной кислотой, продукт — серная кислота.

*Ответ:* а) 1; б)  $1/2$ ; в)  $1/2$ ; г)  $1/2$ ; д)  $1/6$ ; е)  $1/8$ .

**4.** Определите молярную массу эквивалентов вещества: ортофосфорной кислоты, если  $f(\text{H}_3\text{PO}_4) = 1/2$ ; сульфата железа(III) в реакции полного обмена ионов железа; гидрокарбоната кальция в реакции полного обмена ионов кальция.

*Ответ:*  $M(1/2\text{H}_3\text{PO}_4) = 49$  г/моль;

$M(1/6\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3) = 66,7$  г/моль;

$M(1/2\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2) = 81$  г/моль.

**5.** Вычислите массу вещества, содержащегося в заданном количестве вещества эквивалента: а) 0,5 моль эквивалентов  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ; б) 0,2 моль эквивалентов  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

*Ответ:* а)  $m(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = 95,5 \text{ г}$ ;

б)  $m(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = 12,6 \text{ г}$ .

**6.** Рассчитайте количество вещества и количество вещества эквивалента в данной массе вещества: а) 7,1 г  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ; б) 5,8 г  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ .

*Ответ:* а)  $n(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0,05 \text{ моль}$ ;  $n(1/2\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0,1 \text{ моль}$ ;

б)  $n(\text{Mg}(\text{OH})_2) = 0,1 \text{ моль}$ ;  $n(1/2\text{Mg}(\text{OH})_2) = 0,2 \text{ моль}$ .

**7.** Молярная концентрация окислителя в растворе равна 0,05 моль/л. Рассчитайте молярную концентрацию эквивалента окислителя, учитывая химизм реакции:

а)  $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{KI} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \dots$ ;

б)  $\text{NaIO}_3 + \text{KI} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{I}_2 + \dots$ .

*Ответ:* а)  $c(1/6(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 0,3 \text{ моль/л}$ ;

б)  $c(1/10 \text{NaIO}_3) = 0,5 \text{ моль/л}$ .

**8.** Молярная концентрация восстановителя в растворе равна 0,05 моль/л. Определите молярную концентрацию эквивалента восстановителя, принимая во внимание химизм реакции:

$\text{H}_2\text{O}_2 + \text{KIO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{I}_2^- + \text{O}_2^- + \dots$

*Ответ:*  $c(1/2\text{H}_2\text{O}_2) = 0,1 \text{ моль/л}$ .

**9.** К 50 мл подкисленного раствора с молярной концентрацией сульфата железа(II) 0,03 моль/л добавили 0,032 г  $\text{KMnO}_4$ . Какой объем раствора с молярной концентрацией  $\text{KMnO}_4$  0,01 моль/л следует добавить к полученной смеси для полного окисления сульфата железа(II)?

*Ответ:*  $V_{\text{р-ра}} = 9,75 \text{ мл}$ .

**10.** Сколько г растворенного вещества содержится в заданном объеме раствора с указанной молярной концентрацией: а) 200 мл 0,3 М раствора глюкозы; б) 400 мл 0,15 М раствора NaCl.

*Ответ:* а)  $m(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 10,8$  г; б)  $m(\text{NaCl}) = 3,51$  г.

**11.** Сколько г и моль растворенного вещества содержится в заданной массе раствора с указанной массовой долей вещества: а) 200 г 11,1%-ного раствора  $\text{CaCl}_2$ ; б) 1000 г 3,5%-ного раствора  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ .

*Ответ:* а)  $m(\text{CaCl}_2) = 22,2$  г;  $n(\text{CaCl}_2) = 0,2$  моль;

б)  $m(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) = 35$  г;  $n(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) = 1$  моль.

**12.** Растворы  $\text{H}_2\text{O}_2$  используют для полоскания горла, полости рта. Для приготовления растворов  $\text{H}_2\text{O}_2$  удобно пользоваться гидроперитом – комплексным соединением  $\text{H}_2\text{O}_2$  с карбамидом (мочевинной) состава  $(\text{NH}_2)_2\text{CO} \cdot \text{H}_2\text{O}_2$ . Рассчитайте массовую долю пероксида водорода в гидроперите.

*Ответ:*  $\omega(\text{H}_2\text{O}_2) = 36,17\%$ .

**13.** Раствор Люголя, применяющейся в ЛОР-практике для смазывания слизистой оболочки полости рта и горла, содержит в 17 мл воды 1 г йода и 2 г йодида калия. Рассчитайте массовые доли йода и йодида калия в растворе Люголя.

*Ответ:*  $\omega(\text{I}_2) = 0,05$ ;  $\omega(\text{KI}) = 0,1$ .

**14.** Какая масса хлорида калия содержится в 0,4 л его 0,3 М раствора?

*Ответ:*  $m(\text{KCl}) = 8,94$  г.

**15.** Рассчитайте молярную концентрацию соляной кислоты в растворе с массовой долей HCl 38% ( $\rho = 1,19$  г/мл).

*Ответ:*  $c(\text{HCl}) = 12,4$  моль/л.

**16.** При охлаждении 300 г 15%-ного раствора часть соли выпала в осадок и массовая доля соли уменьшилась до 8%. Какова масса осадка?

*Ответ:*  $m = 22,8$  г.

**17.** Каковы моляльная концентрация и молярная доля растворенного вещества в 67%-ном (по массе) растворе сахарозы?

*Ответ:*  $c_m = 5,96$  моль/кг,  $N = 0,097$ .

**18.** 5%-ный раствор глюкозы ( $M(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 180$  г/моль) применяют для восполнения жидкости в организме и как источник легкоусвояемого углевода. Вычислите молярную и моляльную концентрации в растворе с массовой долей глюкозы 5% ( $\rho_{\text{р-ра}} = 1,02$  г/мл).

*Ответ:*  $c(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 0,283$  моль/л;  $c_m(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 0,29$  моль/кг.

**19.** При недостаточной кислотности желудочного сока принимают внутрь (часто вместе с пепсином) разбавленную соляную кислоту с массовой долей 8%. Определите молярные доли HCl и воды в этом растворе.

*Ответ:*  $N(\text{HCl}) = 0,04$ ;  $N(\text{H}_2\text{O}) = 0,96$ .

**20.** В желудочном соке человека массовая доля соляной кислоты составляет в среднем 0,5%. Сколько моль HCl содержится в 500 г желудочного сока?

*Ответ:*  $n(\text{HCl}) = 0,068$  моль.

**21.** Плотность раствора с массовой долей КОН 26% равна 1,246 г/мл. Сколько моль и г КОН содержится в 5 л такого раствора?

*Ответ:*  $n(\text{KOH}) = 28,925$  моль,  $m(\text{KOH}) = 1619,8$  г.

**22.** Питьевая сода ( $\text{NaHCO}_3$ ) есть в каждом доме. Она входит в состав многих кулинарных рецептов, а также используется для полоскания горла. Рассчитайте объем оксида углерода(IV) (н.у.), который может выделиться при реакции 10 г гидрокарбо-

ната натрия с избытком соляной кислоты. Попробуйте объяснить, почему соду не рекомендуют употреблять внутрь при повышенной кислотности.

*Ответ:*  $V(\text{CO}_2) = 2,67$  л.

**23.** При укусах муравьев, при соприкосновении с крапивой на коже возникает чувство жжения за счет действия муравьиной кислоты. Какая масса муравьиной кислоты может быть нейтрализована с помощью 10 мл 2%-ного раствора  $\text{NaHCO}_3$ , плотность которого равна 1,013 г/мл?

*Ответ:*  $m(\text{HCOOH}) = 0,11$  г.

**24.** 0,9%-ный раствор  $\text{NaCl}$  широко используется в медицинской практике в качестве изотонического. Рассчитайте массу катионов  $\text{Na}^+$  и анионов  $\text{Cl}^-$  в 100 мл изотонического раствора, плотность которого равна 1,005 г/мл.

*Ответ:*  $m(\text{Na}^+) = 0,36$  г;  $m(\text{Cl}^-) = 0,55$  г.

**25.** В домашней аптечке часто можно встретить алюмокалиевые квасцы  $(\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O})$  – додекагидрат сульфата алюминия-калия. Разбавленные водные растворы этого соединения обладают кровоостанавливающим и противовоспалительным действием. Рассчитайте: а) количество (моль) воды в 4,74 г алюмокалиевых квасцов; б) количество (моль) и число атомов кислорода и водорода в 18,88 г алюмокалиевых квасцов.

*Ответ:*  $n(\text{H}_2\text{O}) = 0,12$  моль;  $n(\text{O}) = 0,80$  моль;

$n(\text{H}) = 0,96$  моль;  $N(\text{O}) = 4,8 \cdot 10^{23}$ ;  $N(\text{H}) = 5,8 \cdot 10^{23}$ .

**26.** «Свинцовый сахар» – тригидрат ацетата свинца(II)  $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  – входит в состав «свинцовой примочки» – раствора, который обладает охлаждающим, вяжущим и противомикробным действием и незаменим при ушибах. Рассчитайте: а) массу воды в 1 моль этой соли; б) количество и число атомов кислорода и водорода в том же количестве соли.

*Ответ:*  $m(\text{H}_2\text{O}) = 54$  г;  $n(\text{O}) = 7$  моль;  $n(\text{H}) = 12$  моль;

$N(\text{O}) = 4,2 \cdot 10^{24}$ ;  $N(\text{H}) = 7,2 \cdot 10^{24}$ .

**27.** Массовая доля цинка, входящего в состав яда кобры (ценное лекарство!), равна 0,5%. Сколько атомов цинка потребуется кобре для производства 1 капли (30 мг) своего яда?

*Ответ:*  $N_a(\text{Zn}) = 1,38 \cdot 10^{18}$ .

**28.** Показаниями к применению хлорида калия являются гипокалиемия, интоксикация наперстянкой, аритмия различного происхождения. Рассчитайте молярную, моляльную концентрации и молярные доли хлорида калия и воды в растворе, содержащем 245,7 г соли в 1000 г воды, если  $\rho = 1,131$  г/мл.

*Ответ:*  $c(\text{KCl}) = 2,99$  моль/л;  $c_m = 3,298$  моль/кг;

$N(\text{KCl}) = 0,056$ ;  $N(\text{H}_2\text{O}) = 0,944$ .

**29.** В 100 мл раствора содержится 2,94 г  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ . Рассчитайте молярную концентрацию эквивалента бихромата калия при использовании его в окислительно-восстановительных процессах в кислой среде. Расчет обоснуйте.

*Ответ:* 0,6 моль/л.

**30.** Какова молярная доля ортофосфорной кислоты в растворе, содержащем 100 г  $\text{H}_3\text{PO}_4$  и воду количеством 100 моль?

*Ответ:* 0,0101.

**31.** Вычислите молярность 1%-ного раствора глюкозы (плотность раствора принять равной 1 г/мл).

*Ответ:*  $5,6 \cdot 10^{-2}$  моль/л.

**32.** Рассчитайте молярность, моляльность водного раствора с массовой долей этанола, равной 47%. Плотность раствора равна 0,92 г/мл. Чему равны молярные доли спирта и воды в данном растворе?

*Ответ:*  $c(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 9,4$  М;  $c_m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 19,3$  моль/кг;

$N(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 0,258$ ;  $N(\text{H}_2\text{O}) = 0,742$ .

**33.** Вычислите массовую долю нитрата серебра в растворе ( $\rho = 1,18$  г/мл) с молярной концентрацией  $1,4$  моль/л.

*Ответ:*  $20,2\%$ .

**34.** Рассчитайте моляльность  $5 \cdot 10^{-5}$  М раствора гидроксида натрия ( $\rho = 1$  г/мл).

*Ответ:*  $5 \cdot 10^{-5}$  моль/кг  $\text{H}_2\text{O}$ .

**35.** Рассчитайте моляльную концентрацию хлорида ртути(II) в неводном растворе, полученном смешиванием  $9,98$  г соли и  $120$  мл этанола, плотность которого  $0,785$  г/мл.

*Ответ:*  $c_m = 0,39$  моль/кг растворителя.

**36.** Раствор содержит  $50$  г этиленгликоля ( $M = 62$  г/моль) в  $500$  г воды. Рассчитайте моляльную концентрацию и молярную долю этиленгликоля в нем.

*Ответ:*  $c_m = 1,61$  моль/кг  $\text{H}_2\text{O}$ ;  $N = 0,028$ .

**37.** Раствор хлорида калия ( $\rho = 1,13$  г/мл) содержит  $245,7$  г соли в  $1000$  г воды. Вычислите моляльность, молярность и молярную долю соли.

*Ответ:*  $c_m = 3,3$  моль/кг  $\text{H}_2\text{O}$ ;  $c = 3,0$  моль/л;  $N = 0,056$ .

**38.** В  $500$  мл раствора содержится  $2,8$  г гидроксида калия. Рассчитайте титр и молярную концентрацию эквивалента щелочи в данном растворе.

*Ответ:*  $5,6$  мг/мл;  $0,1$  моль/л.

**39.** Рассчитайте молярную и моляльную концентрации эквивалента мышьяковой кислоты в растворе, если массовая доля  $\text{H}_3\text{AsO}_4$   $9\%$ , а плотность раствора  $1,08$  г/мл.

*Ответ:*  $c(\text{H}_3\text{AsO}_4) = 0,68$  моль/л;  $c(1/3 \text{H}_3\text{AsO}_4) = 2,04$  моль/л.

**40.** Определите молярную долю хлорида натрия в растворе, состоящем из  $0,2$  моль  $\text{NaCl}$  и  $8$  моль воды.

*Ответ:*  $N(\text{NaCl}) = 0,024$ .

**41.** Смешали 4,24 г  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  и 216 мл воды. Рассчитайте моляльную концентрацию и молярную долю растворенного вещества в растворе.

*Ответ:*  $c_m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,185$  моль/кг;  $N(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 3,3 \cdot 10^{-3}$ .

**42.** Рассчитайте молярность, моляльность водного раствора с массовой долей этанола, равной 47%. Плотность раствора равна 0,92 г/мл. Чему равны молярные доли спирта и воды в данном растворе?

*Ответ:*  $c(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 9,4$  М;  $c_m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 19,3$  моль/кг;  
 $N(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 0,258$ ;  $N(\text{H}_2\text{O}) = 0,742$ .

**43.** Смешали 200 г бензола, 10 г этанола и 50 г ацетона. Чему равна молярная доля каждого вещества?

*Ответ:*  $N(\text{C}_6\text{H}_6) = 0,703$ ;  $N(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 0,0596$ ;  
 $N(\text{C}_3\text{H}_6\text{O}) = 0,237$ .

**44.** В медицинской практике используют гормональный препарат адреналин в виде растворов. В ампуле содержится 1 мл 0,1%-ного раствора ( $\rho = 1$  г/мл). Вычислите молярную концентрацию адреналина в этом растворе и массу адреналина в 1 мл раствора, введенного в организм,  $M_{\text{адр.}} = 219,7$  г/моль.

*Ответ:*  $c_{\text{адр.}} = 4,55 \cdot 10^{-3}$  моль/л;  $m_{\text{адр.}} = 1 \cdot 10^{-3}$  г.

**45.** При гипохромных анемиях вместе с препаратами железа назначают (8,2–8,4)%-ный раствор соляной кислоты. Разовая доза составляет 2 мл (40 капель), суточная — 6 мл (120 капель). Рассчитайте массу  $\text{HCl}$ , содержащуюся в разовой и суточной дозах ( $\rho = 1,039$  г/мл).

*Ответ:*  $m_{\text{раз}} = 0,17$  г;  $m_{\text{сут}} = 0,51$  г.

**46.** Содержание ионов  $\text{Cu}^{2+}$  составляет в плазме крови 85–134 мкг%. Вычислите молярную концентрацию ионов  $\text{Cu}^{2+}$  в плазме крови, если  $\rho_{\text{крови}} = 1,03$  г/мл.

*Ответ:*  $c(\text{Cu}^{2+}) = (13,4–21,1) \cdot 10^{-6}$  моль/л.

**47.** Общая концентрация ионов кальция в плазме крови составляет 2,5 ммоль/л, но только 46% находится в свободном ионизированном состоянии. Предполагая, что свободные ионы кальция находятся только в виде хлорида кальция, вычислите массовую долю (в % и мг%) хлорида кальция в плазме крови. Плотность плазмы составляет 1,04 г/мл.

*Ответ:* 0,0124%, 12,4 мг%.

**48.** Для лечения туберкулеза больным вводят внутривенно 10%-ный раствор изониазида из расчета 15 мг/кг массы тела. Рассчитайте объем (мл) 10%-ного раствора изониазида ( $\rho = 1$  г/мл), который необходимо ввести больному весом 70 кг.

*Ответ:* 10,5 мл

**49.** Хлорид цинка используется в качестве вяжущего и асептического средства. Определите молярную концентрацию, молярную концентрацию эквивалента, массовую долю и титр соли в растворе, содержащем 5 г  $\text{ZnCl}_2$  в 100 г раствора ( $\rho = 1$  г/мл).

*Ответ:*  $c(\text{ZnCl}_2) = 0,37\text{M}$ ;  $c(1/2 \text{ZnCl}_2) = 0,74$  моль/л;  
 $\omega = 5\%$ ;  $T(\text{ZnCl}_2) = 0,05000$  г/мл.

**50.** Для расширения зрачка в офтальмологии применяют 1%-ный раствор сульфата атропина. Закапывают этот раствор по 1 капле. Сколько г сульфата атропина содержится: а) в 5 мл (во флаконе) 1%-ного раствора; б) в 1 капле (разовая доза), если  $\rho_{\text{р-ра}} = 1$  г/мл, а в 1 мл содержится 20 капель?

*Ответ:* а) 0,05 г, б) 0,0005 г.

**51.** Фермент трипсин используют ингаляционно. Этот препарат выпускают в ампулах по 0,01 г. Для ингаляций содержимое ампулы надо растворить в 3 мл изотонического раствора хлорида натрия. Чему равна масса трипсина в 100 мл полученного раствора?

*Ответ:* 0,33 г.

**52.** Для обработки ран используется раствор с массовой долей пероксида водорода 3% ( $\rho = 1$  г/мл). Как приготовить 250 мл (стакан) такого раствора из концентрированного раствора с массовой долей пероксида водорода 30% ( $\rho = 1$  г/мл)? Какова молярная концентрация исходного и полученного растворов?

*Ответ:* чтобы приготовить требуемый раствор, нужно взять 25 мл исходного раствора и добавить 225 мл воды; концентрация исходного раствора равна 8,82 М, полученного — 0,882 М.

**53.** В медицине применяются (5–10)%-ные спиртовые растворы йода для обработки ран, ссадин, операционного поля. Какой объем 5%-ного спиртового раствора йода можно приготовить из 10 г кристаллического йода? Плотность раствора 0,950 г/мл.

*Ответ:*  $V = 211$  мл.

**54.** Определите, сколько г каждого из веществ нужно взять фармацевту для приготовления 500 г 5%-ного спиртового раствора йода? Для смягчения действия этот раствор также должен содержать 1% глицерина.

*Ответ:*  $m(\text{йода}) = 25$  г,  $m(\text{глицерина}) = 5$  г;  $m(\text{спирта}) = 470$  г.

**55.** В 450 мл воды растворили 50 г сульфата магния. Плотность полученного раствора равна 1,103 г/мл. Рассчитайте  $P(\text{MgSO}_4)$  и процент соли.

*Ответ:*  $P(\text{MgSO}_4) = 110,3; 11,03\%$ .

**56.** Какие массы соли и воды необходимо взять для приготовления 500 г 0,9%-ного раствора NaCl? Такой раствор называют изотоническим и широко используют в медицинской практике.

*Ответ:*  $m(\text{NaCl}) = 4,5$  г;  $m(\text{воды}) = 495,5$  г.

**57.** Вычислите, какую массу раствора с массовой долей хлорида натрия 20% необходимо добавить к воде объемом 80 мл для получения изотонического раствора.

*Ответ:*  $m_{\text{р-ра}} = 3,77$  г.

**58.** Для оттока раневого содержимого наружно используют 3%-, 5%- или 10%-ные растворы хлорида натрия. Вычислите, сколько мл воды нужно добавить к 50 г 20%-ного раствора хлорида натрия для получения: а) 3%-ного; б) 5%-ного; в) 10%-ного растворов NaCl.

*Ответ:* а) 283 мл; б) 150 мл; в) 50 мл.

**59.** Нашатырный спирт — это водный раствор аммиака. В аптеке для получения нашатырного спирта в 300 мл воды растворили 112 л аммиака (н.у.). Вычислите массовую долю аммиака (в %) в полученном растворе.

*Ответ:*  $\omega(\text{NH}_3) = 22,08\%$ .

**60.** Раствор хлорида кальция применяется в медицине в качестве кровоостанавливающего и противоаллергического средства. Определите массу катионов кальция, поступающих в организм при приеме внутрь столовой ложки раствора (15 мл), содержащего в 100 мл 5 г гексагидрата хлорида кальция. Каковы массовая доля и молярная концентрация раствора, если для приготовления лекарственного препарата 90 г хлорида кальция растворили в 800 мл воды ( $\rho = 1,083$  г/мл)?

*Ответ:*  $m(\text{Ca}^{2+}) = 0,14$  г,  $\omega(\text{CaCl}_2) = 10,1\%$ ;

$c(\text{CaCl}_2) = 0,985$  моль/л.

**61.** Алюмокалиевые квасцы ( $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ) используют в медицинской практике наружно для промываний, примочек. Сколько г квасцов надо добавить к 1000 г 5%-ного раствора сульфата калия, чтобы массовая доля последнего увеличилась вдвое? Что произойдет, если на полученный раствор подействовать избытком сульфида калия?

*Ответ:*  $m(\text{квасцов}) = 598$  г, совместный гидролиз.

**62.** Перманганатом калия можно лечить змеиные укусы при отсутствии специальной сыворотки. Для этого в место укуса вводят шприцом 0,5–1,0 мл 1%-ного раствора  $\text{KMnO}_4$ . Рассчитайте

массу перманганата калия и объем воды, необходимые для приготовления 75 мл такого раствора, имеющего плотность 1,006 г/мл.

*Ответ:*  $m(\text{KMnO}_4) = 0,754 \text{ г};$   
 $V(\text{H}_2\text{O}) = 74,6 \text{ мл}$  (практически 75 мл).

**63.** В медицинской практике используется 3%-ный водный раствор пероксида водорода, а также 30%-ный раствор  $\text{H}_2\text{O}_2$  («пергидроль»). Какой объем воды надо добавить к 5 мл 30%-ного раствора  $\text{H}_2\text{O}_2$ , чтобы получить 3%-ный раствор? Плотность растворов принять равной 1 г/мл.

*Ответ:*  $V(\text{H}_2\text{O}) = 45 \text{ мл}.$

**64.** При нагревании и на свету пероксид водорода в растворе разлагается, и его растворы теряют свои лечебные свойства. Поэтому растворы  $\text{H}_2\text{O}_2$  хранят в склянках из темного стекла в прохладном месте. Определите объем кислорода (н.у.), который выделится при разложении  $\text{H}_2\text{O}_2$ , содержащегося в 100 мл раствора с массовой долей пероксида водорода, равной 3%. Плотность раствора принять равной 1 г/мл.

*Ответ:*  $V(\text{O}_2) = 0,99 \text{ л}$  (н.у.).

**65.** В медицине применяются (5–10)%-ные спиртовые растворы йода для обработки ран, ссадин, операционного поля. Какой объем 5%-ного спиртового раствора йода можно приготовить из 10 г кристаллического йода? Плотность раствора 0,950 г/мл.

*Ответ:*  $V = 211 \text{ мл}.$

**66.** Какой объем воды необходимо взять, чтобы из 45 г сульфата натрия приготовить 20%-ный раствор соли?

*Ответ:*  $V(\text{H}_2\text{O}) = 180 \text{ мл}.$

**67.** В 2 л воды растворили 320 л хлороводорода (н.у.). Рассчитайте массовую долю соляной кислоты в полученном растворе.

*Ответ:*  $\omega(\text{HCl}) = 20,68\%.$

**68.** Какой объем 6 М раствора соляной кислоты нужно взять для приготовления 250 мл 2,5 М раствора кислоты?

*Ответ:*  $V = 104,2$  мл.

**69.** Какие объемы растворов с массовой долей гидроксида калия 50% ( $\rho = 1,51$  г/мл) и с массовой долей КОН 10% ( $\rho = 1,1$  г/мл) потребуются для приготовления 1 л раствора с массовой долей КОН 20% ( $\rho = 1,19$  г/мл)?

*Ответ:* 197 мл и 811,4 мл.

**70.** Какой объем воды следует прибавить к 400 г 25%-ного раствора нитрата натрия, чтобы получить 10%-ный раствор?

*Ответ:* 600 мл.

**71.** Какую массу хлорида натрия надо добавить к 200 г 3%-ного раствора NaCl, чтобы получить раствор с массовой долей соли 10%?

*Ответ:* 15,6 г.

**72.** Какой объем воды следует выпарить из исходного раствора массой 200 г с массовой долей соли 10%, чтобы получить раствор с массовой долей соли 25%?

*Ответ:* 120 г.

**73.** Определите объем раствора с массовой долей азотной кислоты 52% ( $\rho = 1,3$  г/мл), который необходимо добавить к 1,2 л воды для получения раствора с массовой долей азотной кислоты 10%.

*Ответ:* 220 мл.

**74.** К 800 мл 15%-ного раствора серной кислоты ( $\rho = 1,1$  г/мл) прилили воду объемом 120 мл. Рассчитайте массовую долю серной кислоты в полученном растворе.

*Ответ:*  $\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = 13,2\%$ .

**75.** Рассчитайте объемы воды и 10%-ного раствора хлорида бария ( $\rho = 1,09$  г/мл), которые необходимо взять для приготовления 1 л 2%-ного раствора хлорида бария ( $\rho = 1,012$  г/мл).

*Ответ:*  $V(\text{H}_2\text{O}) = 810$  мл;  $V_{\text{р-ра}} = 186$  мл.

**76.** В 256 г воды растворили 80 мл этанола ( $\rho = 0,8$  г/мл). Рассчитайте молярную концентрацию полученного раствора ( $\rho = 0,97$  г/мл).

*Ответ:*  $c(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 4,20$  моль/л.

**77.** Уместится ли в мерной колбе объемом 250 мл 16%-ный раствор гидроксида натрия ( $\rho = 1,175$  г/мл), содержащий 62 г NaOH?

*Ответ:* нет, объем раствора 330 мл.

**78.** Какой объем 96%-ной (по массе) серной кислоты ( $\rho = 1,84$  г/мл) и какую массу воды нужно взять для приготовления 100 мл 15%-ного (по массе) раствора серной кислоты ( $\rho = 1,10$  г/мл)?

*Ответ:*  $V(\text{H}_2\text{SO}_4) = 9,32$  мл;  $m(\text{H}_2\text{O}) = 93,5$  г.

**79.** Сколько г воды и медного купороса необходимо для приготовления 1 л раствора, содержащего 8% (по массе) безводной соли? ( $\rho = 1,084$  г/мл)

*Ответ:*  $m(\text{мед. купороса}) = 135,6$  г,  $m(\text{воды}) = 948,4$  г.

**80.** К 200 г воды прилили 40 мл раствора с молярной концентрацией хлорида калия 2 моль/л ( $\rho = 1,1$  г/мл). Определите молярную концентрацию и массовую долю KCl в полученном растворе, если его плотность равна 1,05 г/мл.

*Ответ:*  $c(\text{KCl}) = 0,34$  М,  $\omega(\text{KCl}) = 2,4\%$ .

**81.** Какую массу воды нужно добавить к 200 мл 30%-ного (по массе) раствора гидроксида натрия ( $\rho = 1,33$  г/мл) для получения 10% -ного раствора щелочи?

*Ответ:*  $m(\text{воды}) = 532$  г.

**82.** Для нейтрализации 42 мл раствора серной кислоты потребовалось 14 мл 0,3 н. раствора щелочи. Какова молярная концентрация серной кислоты в исследуемом растворе?

*Ответ:*  $c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,05$  моль/л.

**83.** В аналитической практике широко используются растворы  $\text{NaOH}$ ,  $\text{KMnO}_4$ . Рассчитайте, сколько г  $\text{NaOH}$  (тв.) необходимо для приготовления 1 л 0,1 М раствора; сколько г  $\text{KMnO}_4$  надо взять, чтобы приготовить 5 л 0,02 н. раствора.

*Ответ:*  $m(\text{NaOH}) = 4$  г;  $m(\text{KMnO}_4) = 3,16$  г.

**84.** Какой объем 96%-ной (по массе) серной кислоты ( $\rho = 1,84$  г/мл) и какую массу воды нужно взять для приготовления 100 мл 15%-ного (по массе) раствора серной кислоты ( $\rho = 1,10$  г/мл)?

*Ответ:*  $V_{\text{р-ра}} = 9,32$  мл;  $m(\text{H}_2\text{O}) = 93,5$  г.

**85.** В дистиллированной воде растворили 4,2 г питьевой соды ( $\text{NaHCO}_3$ ). Вычислите молярную концентрацию и титр вещества в полученном растворе, если его объем равен 200 мл. Раствор такой концентрации рекомендуется для полоскания горла.

*Ответ:*  $c(\text{NaHCO}_3) = 0,25\text{M}$ ;  $T(\text{NaHCO}_3) = 0,02100$  г/мл.

**86.** Мочевину массой 3 г растворили в 500 г воды. Чему равна молярная концентрация полученного раствора?

*Ответ:*  $c_{\text{м}} = 0,100$  моль/кг.

**87.** До какого объема надо разбавить 100 мл 5 М раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , чтобы получить 0,25 М раствор  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ? Чему равна молярная концентрация эквивалента  $c(1/2 \text{H}_2\text{SO}_4)$  в полученном растворе?

*Ответ:* до 2 л;  $c(1/2 \text{H}_2\text{SO}_4) = 0,5$  н.

**88.** Раствор хлорида кальция ( $\text{CaCl}_2$ ) широко используется в медицинской практике. Сколько г потребуется кристаллического  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  марки «х.ч.» и дистиллированной воды для приготовления 100 мл раствора с массовой долей  $\text{CaCl}_2$ , равной 3% ( $\rho = 1 \text{ г/мл}$ )? Какова молярная концентрация  $\text{CaCl}_2$  в таком растворе?

*Ответ:*  $m(\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) = 5,92 \text{ г}$ ;  $m(\text{H}_2\text{O}) = 94,08 \text{ г}$ ;  
 $c(\text{CaCl}_2) = 0,27 \text{ М}$ .

**89.** В медицинской практике для промывания ран применяют 0,5%-ный раствор перманганата калия ( $\rho = 1 \text{ г/мл}$ ). Какой объем раствора (л) можно приготовить из 10 г перманганата калия?

*Ответ:* 2 л.

**90.** Найдите массы йода и спирта, которые потребуются для приготовления 200 мл йодной настойки с плотностью 0,85 г/мл и массовой долей йода 5%.

*Ответ:*  $m(\text{спирта}) = 161,5 \text{ г}$ ;  $m(\text{I}_2) = 8,5 \text{ г}$ .

**91.** До какого объема необходимо разбавить 100 мл 36%-ной соляной кислоты ( $\rho = 1,18 \text{ г/мл}$ ), чтобы получить используемый при пониженной кислотности желудочного сока раствор ( $\rho = 1,05 \text{ г/мл}$ ) с массовой долей кислоты 10%?

*Ответ:* 404,6 мл.

**92.** Какой объем воды необходимо добавить к 200 мл раствора с молярной концентрацией хлорида натрия 1 моль/л, чтобы приготовить раствор с молярной концентрацией хлорида натрия 0,154 моль/л, используемый в медицинской практике как изотонический?

*Ответ:* 1,1 л.

**93.** При ожогах щелочами пораженный участок кожи в течение 5–10 мин обмывают водой, а затем нейтрализуют раствором

с массовой долей уксусной кислоты 1%. Какая масса уксусной эссенции с массовой долей кислоты 60% необходима для приготовления 1%-ного раствора массой 600 г?

*Ответ:*  $m = 10$  г.

**94.** 350 мл раствора с молярной концентрацией азотной кислоты 0,15 моль/л смешали со 100 мл раствора с концентрацией серной кислоты 0,20 моль/л. Определите молярные концентрации кислот в образовавшемся растворе.

*Ответ:*  $c(\text{HNO}_3) = 0,117$  М;  $c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,0444$  М.

**95.** Хлор используется для обеззараживания воды. Рассчитайте, какая масса хлора потребуется для хлорирования 500 мл воды, если при хлорировании расходуется 0,002 мг хлора на 1 л воды. Объясните химико-биологическую сущность хлорирования.

*Ответ:*  $m(\text{Cl}_2) = 0,001$  г.

**96.** При отравлениях ляписом желудок промывают раствором с массовой долей хлорида натрия, равной 2%. Рассчитайте массу  $\text{AgCl}$ , которая получится при реакции 0,1 г нитрата серебра с избытком хлорида натрия.

*Ответ:*  $m(\text{AgCl}) = 0,084$  г.

**97.** В состав успокаивающих средств (валидола, корвалола, валокордина) входит изовалериановая кислота  $\text{C}_4\text{H}_9\text{COOH}$ . Рассчитайте, какое количество изовалериановой кислоты прореагирует с гидроксидом натрия, содержащимся в 50 мл 0,1 М раствора.

*Ответ:*  $n(\text{C}_4\text{H}_9\text{COOH}) = 0,005$  моль.

**98.** При кипячении в воде аспирин распадается на салициловую и уксусную кислоты. Рассчитайте число молекул салициловой кислоты и ее молярную концентрацию в растворе, который образуется после растворения 1 таблетки аспирина в

100 мл воды и последующего кипячения. Масса таблетки 0,5 г.  
 $M(\text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})\text{COOH}) = 138 \text{ г/моль}$ .

*Ответ:*  $N = 1,5 \cdot 10^{21}$ ,  $c_{\text{сал. к-ты}} = 0,025 \text{ моль/л}$ .

**99.** Ампула фиксанала содержит 0,1 моль-экв. дихромата калия. Из ампулы приготовили 2 л раствора. Какова молярная концентрация эквивалента дихромата калия в полученном растворе? Фактор эквивалентности соли равен  $1/6$ .

*Ответ:* 0,05 моль/л.

**100.** На титрование 20 мл раствора NaOH затратили 10 мл раствора HCl с молярной концентрацией эквивалента 0,1 моль/л. Вычислите молярную концентрацию эквивалента щелочи и ее массу в 100 мл раствора.

*Ответ:* 0,05 моль/л; 200 мг.

**101.** При определении кислотности желудочного сока на титрование 15 мл сока было израсходовано 6,5 мл раствора с молярной концентрацией гидроксида натрия 0,02 моль/л. Какова масса HCl в 200 мл желудочного сока?

*Ответ:* 0,064 г.

**102.** Для нейтрализации кислот, содержащихся в  $1 \text{ м}^3$  сточной воды, требуется 80 г NaOH. Какую массу более дешевого  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  можно использовать для нейтрализации  $500 \text{ м}^3$  такой воды?

*Ответ:*  $m(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 37 \text{ кг}$ .

**103.** Навеску неизвестного вещества массой 2,00 г растворили в мерной колбе вместимостью 100,0 мл. На титрование 25,00 мл раствора израсходовали 20,00 мл 0,4455 М HCl. Определите, что входило в состав анализируемого вещества: KOH или NaOH.

*Ответ:* KOH.

**104.** До какого объема нужно довести раствор, в котором содержится 1,532 г NaOH, чтобы на титрование его аликвоты в 20,00 мл израсходовать 14,70 мл HCl ( $T(\text{HCl}) = 0,003800$  г/мл)?

*Ответ:* 500 мл.

**105.** 5,0 г дигидрата щавелевой кислоты растворили в воде и получили 200,0 мл раствора. 10,00 мл полученного раствора перенесли в мерную колбу вместимостью 100,00 мл и довели до метки дистиллированной водой. 10,00 мл второго раствора оттитровали 12,15 мл раствора гидроксида натрия. Вычислите молярную концентрацию раствора титранта.

*Ответ:* 0,03264 моль/л.

**106.** Вычислите массу муравьиной кислоты, содержащуюся в растворе, если на его титрование было израсходовано 12,25 мл раствора гидроксида калия с молярной концентрацией 0,3550 моль/л.

*Ответ:* 0,2002 г.

**107.** Навеску гидроксида кальция массой 1,5000 г, содержащую индифферентные примеси, растворили в воде и получили 200,0 мл раствора. На титрование аликвотной доли объемом 20,00 мл было израсходовано 15,20 мл раствора хлороводородной кислоты с молярной концентрацией 0,2399 моль/л. Вычислите массовую долю (%) гидроксида кальция в образце.

*Ответ:* 90,06%.

**108.** Для стандартизации раствора HCl навеску буры ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) массой 0,2560 г растворили в колбе. На титрование полученного раствора затрачено 13,16 мл раствора HCl. Вычислите молярную концентрацию HCl в растворе.

*Ответ:*  $c(\text{HCl}) = 0,1020$  моль/л.

**109.** Определите активную кислотность (рН) желудочного сока у двух больных по следующим данным. В присутствии соответствующего индикатора на титрование 10 мл желудочного сока первого больного затрачено 2 мл раствора КОН с титром 0,14 мг/мл. В случае второго больного на титрование 5 мл желудочного сока потребовался 1 мл раствора, содержащего 0,56 г КОН в 100 мл раствора.

*Ответ:* 3,3; 1,7.

**110.** Вычислите массу (г) уксусной кислоты, находившейся в растворе, если известно, что на титрование этого объема раствора было затрачено 20,50 мл раствора гидроксида натрия с молярной концентрацией, равной 0,1145 моль/л.

*Ответ:* 0,141 г.

**111.** Рассчитайте массовую долю буры ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) в образце ее, если на титрование навески массой 0,8750 г идет 20,40 мл 0,2120 н. раствора HCl.

*Ответ:*  $\omega(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = 94,32\%$ .

**112.** Для определения содержания гидроксида бария анализируемый раствор перенесли в мерную колбу вместимостью 100 мл и довели дистиллированной водой до метки. На титрование 5,00 мл полученного раствора затрачено 14,33 мл 0,1050 М раствора HCl. Вычислите массу гидроксида бария в анализируемом растворе.

*Ответ:*  $m(\text{Ba}(\text{OH})_2) = 2,57$  г.

**113.** На титрование раствора щавелевой кислоты  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  израсходовано 15,00 мл раствора  $\text{KMnO}_4$ .  $T(\text{KMnO}_4/\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = 0,00670$  г/мл. Определите массу безводной щавелевой кислоты в исследуемом растворе.

*Ответ:*  $m(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = 0,1005$  г.

**114.** Вычислите титр пероксида водорода и его массу в 200 мл раствора, если на титрование 2,00 мл этого раствора пошло 4,84 мл раствора перманганата калия с молярной концентрацией эквивалента, равной 0,05 моль/л.

*Ответ:*  $m(\text{H}_2\text{O}_2) = 0,4114$  г;  $T(\text{H}_2\text{O}_2) = 0,00206$  г/мл.

**115.** На титрование раствора  $\text{FeSO}_4$  израсходовано 15,00 мл раствора  $\text{KMnO}_4$ ,  $c\left(\frac{1}{5} \text{KMnO}_4\right) = 0,09$  моль/л. Определите массу ионов железа(II) в растворе.

*Ответ:*  $m(\text{Fe}^{2+}) = 0,07504$  г.

**116.** Определите молярную концентрацию эквивалента перманганата калия в растворе, если на титрование 5,00 мл этого раствора в сильнокислой среде израсходовано 2,00 мл раствора  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $cT(\text{H}_2\text{O}_2) = 0,00206$  г/мл.

*Ответ:*  $c(\text{KMnO}_4) = 0,0485$  моль/л.

**117.** При проверке санитарно-гигиенического состояния кухонной посуды в котел налили 1 л дистиллированной воды, через некоторое время отобрали 10 мл и протитровали 0,01 н. раствором соляной кислоты до нейтральной реакции. Определите массу щелочи (гидроксида натрия), содержащейся в 1 л промывных вод, если объем раствора, пошедший на титрование, — 5 мл.

*Ответ:*  $m(\text{NaOH}) = 0,2$  г.

**118.** Раствор перманганата калия имеет молярную концентрацию 0,1 моль/л. Рассчитайте молярную концентрацию эквивалента (нормальность) этого раствора при титровании в кислой среде. Изменится ли нормальность этого раствора, если титровать в нейтральной среде? Ответ подтвердите написанием соответствующих полуреакций.

*Ответ:* 0,5 моль/л; изменится, 0,3 моль/л.

**119.** Определите содержание синильной кислоты во взятом образце для судебно-медицинской экспертизы, если на титрование цианида натрия, образовавшегося при ее нейтрализации щелочью, было затрачено 15 мл раствора нитрата серебра с титром 12,5 мг/мл.

*Ответ:* 29,8 мг.

**120.** На титрование 25 мл раствора  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  в сернокислой среде затратили 15 мл раствора  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  с молярной концентрацией эквивалента 0,1 моль/л. Рассчитайте молярную концентрацию эквивалента раствора  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  и массу  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  в 100 мл этого раствора.

*Ответ:* 0,06 моль/л; 378 мг.

**121.** При титровании раствора КОН соляной кислотой с молярной концентрацией эквивалента 0,1 моль/л допущена ошибка – раствор перетитровали. Объем добавленной при этом кислоты – 11 мл. Избыток кислоты оттитрован 0,5 мл раствора  $\text{NaOH}$  с молярной концентрацией эквивалента 0,2 моль/л. Установите массу гидроксида калия в исходном растворе.

*Ответ:* 56 мг.

**122.** Определите молярную концентрацию эквивалента перманганата калия в приготовленном титранте, если на титрование в кислой среде 0,063 г химически чистого дигидрата щавелевой кислоты пошло 10,25 мл раствора перманганата калия.

*Ответ:*  $c_{\text{экв}}(\text{KMnO}_4) = 0,098 \text{ н.}$

**123.** Водный раствор аммиака массой 2,12 г разбавлен в мерной колбе вместимостью 250 мл. На титрование 10,0 мл разбавленного раствора затрачено 8,4 мл титранта с концентрацией  $c(\text{HCl}) = 0,107 \text{ моль/л.}$  Рассчитайте массовую долю аммиака в исходном растворе.

*Ответ:*  $\omega(\text{NH}_4\text{OH}) = 18,04\%.$

**124.** На титрование 10 мл раствора, содержащего пероксид водорода, израсходовано 9,8 мл 0,02 М раствора  $\text{KMnO}_4$  в сильнокислой среде. Какова масса пероксида водорода в 100 мл раствора?

*Ответ:*  $m(\text{H}_2\text{O}_2) = 0,167$  г.

**125.** На титрование пробы раствора гидроксида натрия затратили 15,1 мл рабочего раствора с концентрацией соляной кислоты 0,103 моль/л. Чему равна масса  $\text{NaOH}$  в исследуемом растворе?

*Ответ:*  $m(\text{NaOH}) = 0,062$  г.

**126.** Загрязненный примесями образец дигидрата щавелевой кислоты массой 2,940 г растворили в колбе на 100 мл. На титрование 10,0 мл полученного раствора перманганатом калия в кислой среде было затрачено 20 мл титранта,  $c(\text{KMnO}_4) = 0,02$  моль/л. Рассчитайте массовую долю основного вещества в образце.

*Ответ:*  $\omega(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = 85,7\%$ .

**127.** Вычислите массу уксусной кислоты в исследуемом растворе, если на титрование пробы этого раствора было затрачено 20,5 мл раствора с молярной концентрацией  $\text{NaOH}$ , равной 0,1145 моль/л.

*Ответ:*  $m(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,141$  г.

**128.** Во сколько раз необходимо разбавить сточную воду, содержащую 0,001 моль/л  $\text{Hg}^{2+}$ , чтобы ее можно было сливать в водоем? ПДК( $\text{Hg}^{2+}$ ) = 0,005 мг/л.

*Ответ:* в 41 000 раз.

**129.** Во сколько раз необходимо разбавить сточную воду, содержащую 0,001 моль/л фенола, чтобы ее можно было сливать в водоем, если ПДК фенола равна 0,001 мг/л?

*Ответ:* сточную воду надо разбавить в 94 000 раз.

**130.** Во сколько раз необходимо разбавить сточную воду, содержащую 0,001 моль/л KCN, чтобы ее можно было сливать в водоем? ПДК(KCN) = 0,01 мг/л.

*Ответ:* в 6500 раз.

**131.** Определите, сколько мл 0,1 н. раствора трилона Б и 0,1 н. раствора HCl израсходовано при определении жесткости воды методом комплексонометрии, если объем пробы воды равен 100 мл. Результаты анализа: общая жесткость  $J_o = 3$  ммоль/л, карбонатная жесткость  $J_k = 2,5$  ммоль-экв/л.

*Ответ:*  $V(\text{p-ра трилона Б}) = 3$  мл,  $V(\text{p-ра HCl}) = 2,5$  мл.

**132.** Определите, сколько мл 0,1 н. раствора трилона Б и 0,05 н. раствора HCl израсходовано при определении жесткости воды методом комплексонометрии, если объем пробы воды равен 100 мл. Результаты анализа: общая жесткость  $J_o = 2,5$  ммоль-экв/л, карбонатная жесткость  $J_k = 2$  ммоль-экв/л.

*Ответ:*  $V(\text{p-ра трилона Б}) = 2,5$  мл,  $V(\text{p-ра HCl}) = 4$  мл.

**133.** Какие массы и каких реагентов нужно затратить на умягчение 30 л воды, имеющей следующие величины жесткости:  $J_k = 1,6$  ммоль-экв/л,  $J_o = 2,75$  ммоль-экв/л. Составьте уравнения процессов умягчения.

*Ответ:*  $m_k = 1,776$  г,  $m_o = 4,372$  г.

**134.** На умягчение 150 л воды израсходовано  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  массой 5,57 г и  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  массой 26,6 г. Рассчитайте общую жесткость  $J_o$  исходной воды. Составьте уравнения процессов умягчения.

*Ответ:*  $J_o = 4,30$  ммоль-экв/л.

**135.** В 4 м<sup>3</sup> воды содержатся  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  массой 648 г и  $\text{CaCl}_2$  массой 1335 г. Определите общую жесткость воды.

*Ответ:*  $J_o = 8,0$  ммоль-экв/л.

**136.** Общая жесткость воды в реке Кубань равна 4,6 ммоль-экв/л, а временная — 3,5 ммоль-экв/л. Какая масса карбоната натрия необходима для умягчения 5 л воды?

*Ответ:* 2,4 г.

**137.** На титрование 10 мл хлорной воды в присутствии избытка йодида калия израсходовали 12 мл раствора тиосульфата натрия с молярной концентрацией эквивалента 0,1 моль/л. Вычислите массу хлора, растворенного в 1 литре хлорной воды.

*Ответ:* 4,26 г.

**138.** Раствор  $\text{H}_2\text{O}_2$  приготовили разбавлением 25,00 мл 3%-ной перекиси водорода до 250,0 мл. Сколько миллилитров полученного раствора следует взять, чтобы на его титрование после обработки  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и  $\text{KI}$  израсходовать 25,00 мл 0,1 н.  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ? Плотность раствора  $\text{H}_2\text{O}_2$  принять равной единице.

*Ответ:*  $V(\text{H}_2\text{O}_2) = 14,16$  мл.

**139.** К навеске  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  массой 0,1500 г добавили  $\text{HCl}$  и избыточное количество  $\text{KI}$ . Выделившийся йод оттитровали 21,65 мл раствора тиосульфата натрия. Рассчитайте молярную концентрацию эквивалента  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  в растворе.

*Ответ:*  $c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 0,1414$  моль/л.

**140.** К подкисленному раствору  $\text{H}_2\text{O}_2$  прибавили избыточное количество  $\text{KI}$  и несколько капель раствора соли молибдена в качестве катализатора. Выделившийся йод оттитровали 22,40 мл 0,1010 н.  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  ( $f_{\text{экв.}} = 1$ ). Какая масса  $\text{H}_2\text{O}_2$  содержалась в растворе?

*Ответ:*  $m(\text{H}_2\text{O}_2) = 0,0385$  г.

**141.** Пробу отбеливающего раствора объемом 20,00 мл разбавили в мерной колбе до 250,0 мл и 50,00 мл этого раствора оттитровали йодометрически, затратив 21,16 мл 0,1241 н.  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  ( $f_{\text{экв.}} = 1$ ). Рассчитайте концентрацию активного хлора в первоначальном растворе (г/л).

*Ответ:* 23,2745 г/л.

**142.** Какой объем хлорной воды, содержащей около 2% хлора, следует взять, чтобы на ее йодометрическое титрование израсходовать около 20,00 мл раствора тиосульфата натрия с  $T(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 0,02453$  г/мл?

*Ответ:* 3,50 мл.

**143.** Из монохлорамина Б приготовили 250 мл раствора. На титрование 10 мл этого раствора в присутствии йодида калия и соляной кислоты израсходовали 16,9 мл раствора тиосульфата натрия с молярной концентрацией эквивалента 0,1 моль/л. Напишите соответствующие уравнения реакций. Рассчитайте массу активного хлора в 250 мл анализируемого раствора.

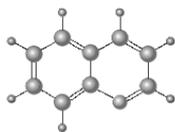
*Ответ:* 1,5 г.

**144.** Хлорактивные вещества при хранении частично теряют свою активность. Навеску хлорной извести массой 1 г поместили в мерную колбу на 100 мл и долили водой до метки. Далее пипеткой отобрали 10 мл этого раствора и оттитровали (в присутствии  $\text{HCl}$  и  $\text{KI}$ ). На титрование пошло 23 мл раствора тиосульфата натрия с молярной концентрацией эквивалента 0,025 моль/л. Вычислите массу активного хлора в анализируемом образце хлорной извести. Рассчитайте практическое содержание активного хлора в препарате и сравните с теоретическим значением.

*Ответ:* 20,4%(практич.); 55,9% (теоретич.).

**145.** При комплексонометрическом определении цинка оттитровали 20,00 мл анализируемого раствора, содержащего соль цинка, в аммиачном буфере стандартным раствором ЭДТА с концентрацией 0,0250 моль/л в присутствии индикатора эриохрома черного Т до перехода красно-фиолетовой окраски раствора в синюю. На титрование израсходовали 15,00 мл титранта. Определите молярную концентрацию, титр и массу  $\text{Zn}^{2+}$  в анализируемом растворе.

*Ответ:* 0,0188 моль/л; 0,001226 г/мл; 0,0245 г.



## МОДУЛЬ

# «ОСНОВЫ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕРМОДИНАМИКИ И ХИМИЧЕСКОЙ КИНЕТИКИ. ХИМИЧЕСКОЕ РАВНОВЕСИЕ»

### Основные термодинамические и кинетические понятия и величины

Понятие, параметр	Обозначение, единицы измерения	Смысловое значение
Система	—	Это тело или группа тел, находящихся во взаимодействии, реально или мысленно обособленные от окружающей среды и подвергнутые изучению, рассматриваемые как совокупность большого числа частиц
Экстенсивные параметры системы	$m, V, n$	Это параметры, величины которых зависят от количества частиц системы
Интенсивные параметры системы	$T, p, c$	Это параметры, величины которых не зависят от количества частиц системы
Функции состояния	$U, S, H, G$	Экстенсивные величины, которые нельзя непосредственно измерить экспериментально, характеризующие состояние системы. Их значения зависят только от данного состояния системы и не зависят от того, каким путем это состояние достигнуто

Понятие, параметр	Обозначение, единицы измерения	Смысловое значение
Энергия	$E$	Это количественная мера различных форм движения и взаимодействия всех видов материи. Энергия является неотъемлемым свойством системы
Внутренняя энергия	$U$ , кДж/моль	Полная энергия системы, равная сумме потенциальной, кинетической и других видов энергии всех частиц этой системы. Это функция состояния, приращение которой равно теплоте, полученной системой в изохорном процессе
Работа	$A$ , кДж/моль	Энергетическая мера направленных форм движения частиц в процессе взаимодействия системы с окружающей средой
Теплота	$Q$ , кДж/моль	Энергетическая мера хаотических форм движения частиц в процессе взаимодействия системы с окружающей средой
I закон термодинамики	$\Delta U = 0$  $Q = \Delta U + A$	В изолированной системе изменение внутренней энергии системы в результате любых процессов всегда равно нулю. Теплота, подведенная к закрытой системе, расходуется на увеличение внутренней энергии системы и на совершение системой работы против внешних сил окружающей среды

Понятие, параметр	Обозначение, единицы измерения	Смысловое значение
Энтальпия	$H$ , кДж/моль $H = U + pV$ $\Delta H = \Delta U + p\Delta V$	Функция состояния, характеризующая энергетическое состояние системы в изобарных условиях
Энтальпия реакции	$\Delta H_{\text{р-ции}}$ , кДж/моль	Количество теплоты, которое выделяется или поглощается при проведении химических реакций в изобарных условиях
Экзотермические процессы	$\Delta H < 0$	Процессы, в результате которых энергия выделяется из системы в окружающую среду
Эндотермические процессы	$\Delta H > 0$	Процессы, в результате которых энергия поглощается системой из окружающей среды
Стандартные условия	с.у.	Давление: 101325 Па = 760 мм рт. ст., температура: 25 °С ≈ 298 К, $n(X) = 1$ моль
Стандартная энтальпия образования простых веществ	$\Delta H_{\text{обр} 298}^0$ (в-во, агрегатное состояние), кДж/моль	При с.у. принимается равной нулю для простых веществ в их наиболее термодинамически устойчивых агрегатном и аллотропном состояниях
Стандартная энтальпия образования сложных веществ	$\Delta H_{\text{обр} 298}^0$ (в-во, агрегатное состояние), кДж/моль	Это энтальпия реакции образования 1 моль этого вещества из простых веществ в с.у.
Стандартная энтальпия сгорания	$\Delta H_{\text{сгор}}^0 (X)$ , кДж/моль	Это энтальпия сгорания (окисления) 1 моль вещества до высших оксидов в среде кислорода при с.у.

Понятие, параметр	Обозначение, единицы измерения	Смысловое значение
Энтальпия растворения	$\Delta H_{\text{р-ния}}, \text{кДж/моль}$ $\Delta H_{\text{р-ния}} =$ $= -\frac{\bar{c} \cdot m_{\text{р-ра}} \cdot \Delta T \cdot M_{\text{в-ва}}}{m_{\text{в-ва}}},$ где $\bar{c}$ – теплоемкость раствора	Тепловой эффект растворения твердого вещества в изобарных условиях. Количество теплоты, которое выделяется при растворении 1 моль вещества в значительном избытке растворителя
Энтропия	$S, \text{Дж/(моль} \cdot \text{K)}$ $\Delta S = Q/T$ (изотермический обратимый процесс) $\Delta S > Q/T$ (необратимый процесс) $\Delta S_{\text{р-ции}}^0 =$ $= \sum n_i S_{i(\text{прод. р-ции})}^0 -$ $-\sum n_i S_{i(\text{исх. в-в})}^0$	Функция состояния, характеризующая меру неупорядоченности системы, т.е. неоднородности расположения и движения ее частиц, приращение которой равно теплоте, подведенной к системе в обратимом изотермическом процессе, деленной на абсолютную температуру, при которой осуществляется процесс
2-й закон термодинамики	$\Delta S > 0$	В изолированных системах самопроизвольно могут совершаться только такие процессы, в которых энтропия системы возрастает
Энергия Гиббса	$G, \text{кДж/моль},$ $G = H - T \cdot S$ $\Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S$ $\Delta G_{\text{р-ции}}^0 =$ $= \sum n_i \Delta G_{i(\text{прод. р-ции})}^0 -$ $-\sum n_i \Delta G_{i(\text{исх. в-в})}^0$	Свободная энергия, обобщенная термодинамическая функция состояния системы, учитывающая энергетику и неупорядоченность системы в изобарных условиях

Понятие, параметр	Обозначение, единицы измерения	Смысловое значение
Принцип Пригожина	$\frac{\Delta S}{\Delta \tau} \rightarrow \min$	Производство энтропии системой, находящейся в стационарном состоянии, стремится к минимуму
Химическое равновесие	$aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$	Динамическое состояние обратимого процесса, при котором скорости прямой и обратной реакций равны и которое характеризуется постоянством параметров при постоянных внешних условиях
Принцип Ле Шателье	—	Если на систему, находящуюся в состоянии химического равновесия, оказывать воздействие путем изменения концентрации реагентов, давления, температуры, то равновесие смещается в направлении той реакции, протекание которой ослабляет это воздействие
Константа равновесия химической реакции	$K_{\text{равн}}$ (моль/л) $\Delta n$ , где $\Delta n$ зависит от значений стехиометрических коэффициентов веществ. Для реакции $aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$ $K_{\text{равн}} = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b}.$	Равна отношению произведения равновесных концентраций продуктов реакции к произведению равновесных концентраций реагентов в степенях, равных стехиометрическим коэффициентам

Понятие, параметр	Обозначение, единицы измерения	Смысловое значение
Уравнение изотермы Вант-Гоффа	Для обратимой реакции $aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$ $\Delta G_{\text{р-ции}} = \Delta G_{\text{р-ции}}^{\circ} +$ $+ RT \ln \frac{c^d(D) \cdot c^c(C)}{c^a(A) \cdot c^b(B)}$ $\Delta G_{\text{р-ции}}^{\circ} = -R \cdot T \cdot \ln K_{\text{равн}}$ $\Delta G_{\text{р-ции}} = -R \cdot T \cdot \ln K_{\text{равн}} +$ $+ RT \ln \frac{c^d(D) \cdot c^c(C)}{c^a(A) \cdot c^b(B)}$ $\Delta G_{\text{р-ции}} = RT \cdot$ $\cdot \left( \ln \frac{c^d(D) \cdot c^c(C)}{c^a(A) \cdot c^b(B)} - \ln K_{\text{равн}} \right)$	Позволяет рассчитать энергию Гиббса при заданных значениях концентраций реагентов и продуктов реакции
Закон действующих масс для кинетики	$v = k \cdot c^{n_A}(A) \cdot c^{n_B}(B)$	Скорость реакции пропорциональна произведению концентраций реагирующих веществ в степенях, которые называются порядками реакции по соответствующим веществам
Порядок реакции по веществу	$n_i$	Показатель степени, в которой концентрация реагента входит в уравнение для скорости химической реакции

Понятие, параметр	Обозначение, единицы измерения	Смысловое значение
		Порядок может быть любой величиной: целой, дробной, положительной, нулем, отрицательной и даже переменной величиной, зависящей от глубины протекания реакции
Общий порядок реакции	$n = n_A + n_B + \dots$	Сумма порядков реакции по всем реагентам
Средняя скорость реакции	$v$ , моль/(л·с) $v = \frac{1}{n_i} \frac{ \Delta c_i }{\Delta \tau}$	Усредненная скорость реакции за данный промежуток времени; $n_i$ – стехиометрический коэффициент вещества в реакции
Средняя скорость реакции по веществу	$v_p$ , моль/(л·с) $v_i = \frac{ \Delta c_i }{\Delta \tau}$	Усредненная скорость по веществу за данный промежуток времени
Истинная скорость реакции	$v$ , моль/(л·с) $v = \frac{1}{n_i} \left  \frac{dc_i}{d\tau} \right $	Характеризует скорость реакции в данный момент времени ( $\Delta \tau \rightarrow 0$ ); $n_i$ – стехиометрический коэффициент вещества в реакции
Истинная скорость реакции по веществу	$v_p$ , моль/(л·с) $v_i = \left  \frac{dc_i}{d\tau} \right $	Характеризует скорость по веществу в данный момент времени ( $\Delta \tau \rightarrow 0$ )
Константа скорости реакции	$k$ , с <sup>-1</sup> – для реакций 1-го порядка; л/(моль·с) – для реакций 2-го порядка	Индивидуальная характеристика реакции, численно равна скорости реакции при концентрациях реагентов, равных 1 моль/л

Понятие, параметр	Обозначение, единицы измерения	Смысловое значение
Энергия активации	$E_a$ , кДж/моль	Минимальная избыточная энергия взаимодействующих частиц, достаточная для того, чтобы эти частицы вступили в химическую реакцию
Период полупревращения	$\tau_{1/2}$ сек, мин, час, сутки	Время, за которое концентрация реагирующего вещества уменьшается вдвое
Период полураспада	$\tau_{1/2}$ сек, мин, часы, сутки, годы	Время, за которое количество радиоактивного вещества уменьшается в 2 раза
Кинетическое уравнение для реакций 1-го порядка (интегральная форма)	$c = c_0 \cdot e^{-kt}$ , где $e$ – основание натурального логарифма  $\ln c = \ln c_0 - kt$  $k = \frac{\ln 2}{\tau_{1/2}}$	Уравнение линейно относительно переменных $\ln c$ и $t$ ; $k$ – константа скорости реакции 1-го порядка; $c_0$ – концентрация исходного вещества в начальный момент времени; $c$ – текущая концентрация исходного вещества в момент времени $t$ ; $t$ – время, прошедшее от начала реакции
Правило Вант-Гоффа	$v_2 = v_1 \cdot \gamma^{\frac{T_2 - T_1}{10}}$  $k_2 = k_1 \cdot \gamma^{\frac{T_2 - T_1}{10}}$ , где $\gamma$ – температурный коэффициент скорости реакции; $v_1$ и $v_2$ – скорости реакции при температурах $T_1$ и $T_2$ соответственно	С увеличением температуры на каждые 10 градусов скорость химической реакции возрастает в 2–4 раза (для биохимических реакций $\gamma$ достигает значений 7–9)

Понятие, параметр	Обозначение, единицы измерения	Смысловое значение
Уравнение Аррениуса	$k = A \cdot e^{-\frac{E_a}{RT}},$ <p>где <math>k</math> – константа скорости реакции;  <math>A</math> – предэкспоненциальный множитель;  <math>E_a</math> – энергия активации</p> $\ln k = \ln A - \frac{E_a}{RT}$ $\ln \frac{k_2}{k_1} = -\frac{E_a}{R} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$ $\ln \frac{k_2}{k_1} = -\frac{E_a}{R} \left( \frac{T_1 - T_2}{T_1 \cdot T_2} \right)$ <p>Если <math>A = \text{const}</math>, то</p> $\ln \frac{k_2}{k_1} = -\frac{E_{a2} - E_{a1}}{RT}$	Устанавливает связь между константой скорости реакции, энергией активации и температурой

### Закон Г.И. Гесса и основные следствия из него

**Энтальпия реакции** ( $\Delta H_{\text{р-ции}}$ ), т. е. тепловой эффект реакции при изобарно-изотермических условиях ( $p, t = \text{const}$ ), зависит от природы и состояния исходных веществ и продуктов реакции, но *не зависит от пути*, по которому протекает реакция.

$$\Delta H_{\text{р-ции}}^{\circ} = \sum n_i \Delta H_{\text{образ}}^{\circ} (\text{прод р-ции}) - \sum n_j \Delta H_{\text{образ}}^{\circ} (\text{исх в-в}) \cdot$$

$$\Delta H_{\text{р-ции}}^{\circ} = \sum n_i \Delta H_{\text{сгор}}^{\circ} (\text{исх в-в}) - \sum n_j \Delta H_{\text{сгор}}^{\circ} (\text{прод р-ции}) \cdot$$

$$\Delta H_{\text{обр}}^{\circ} = -\Delta H_{\text{разл}}^{\circ}$$

Энергия, выделяемая при полном окислении, т. е. сгорании питательных веществ, называется их **калорийностью** (кДж/г; ккал/г).

## Обучающие задачи с решением

**1.** Определите значение энтальпии реакции гидролиза мочевины – одного из важнейших продуктов жизнедеятельности организма при 298 К, если известны стандартные энтальпии образования веществ, участвующих в реакции:

$$\Delta H_{\text{обр}}^{\circ}(\text{CO}(\text{NH}_2)_{2\text{р-р}}) = -319,2 \text{ кДж/моль};$$

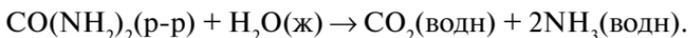
$$\Delta H_{\text{обр}}^{\circ}(\text{H}_2\text{O})_{\text{ж}} = -285,8 \text{ кДж/моль};$$

$$\Delta H_{\text{обр}}^{\circ}(\text{CO}_2)_{\text{водн}} = -413,6 \text{ кДж/моль};$$

$$\Delta H_{\text{обр}}^{\circ}(\text{NH}_3)_{\text{водн}} = -79,9 \text{ кДж/моль}.$$

### Решение.

Реакция гидролиза мочевины:



Согласно первому следствию из закона Гесса, тепловой эффект химической реакции равен разности между суммой теплот образования продуктов реакции и суммой теплот образования реагирующих веществ с учетом стехиометрических коэффициентов:

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{р-ции}}^{\circ} &= [\Delta H_{\text{обр}}^{\circ}(\text{CO}_2)_{\text{водн}} + 2 \cdot \Delta H_{\text{обр}}^{\circ}(\text{NH}_3)_{\text{водн}}] - \\ &- [\Delta H_{\text{обр}}^{\circ}(\text{CO}(\text{NH}_2)_{2\text{р-р}}) + \Delta H_{\text{обр}}^{\circ}(\text{H}_2\text{O})_{\text{ж}}] = \\ &= [-413,6 + 2(-79,9)] - [(-319,2) + (-285,8)] = \\ &= + 31,6 \text{ кДж/моль}. \end{aligned}$$

*Ответ:* энтальпия реакции гидролиза 1 моль мочевины до  $\text{CO}_2$  и  $\text{NH}_3$  равна +31,6 кДж. Процесс эндотермический.

**2.** Вычислите тепловой эффект реакции ( $\Delta H_{\text{р-ции}}^{\circ}$ ) при с.у.:  $4\text{NH}_3(\text{г}) + 5\text{O}_2(\text{г}) \rightarrow 4\text{NO}(\text{г}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{ж})$ , пользуясь справочными значениями стандартных теплот (энтальпий) образования веществ.

### Решение.

По закону Гесса:

$$\Delta H_{\text{р-ции}}^{\circ} = \sum n_i \Delta H_{\text{обр}}^{\circ}(\text{прод р-ции}) - \sum n_i \Delta H_{\text{обр}}^{\circ}(\text{исх в-в});$$

$$\begin{aligned}\Delta H^{\circ}_{\text{р-ции}} &= [4\Delta H^{\circ}_{\text{обр}}(\text{NO})_{\text{г}} + 6\Delta H^{\circ}_{\text{обр}}(\text{H}_2\text{O})_{\text{ж}}] - \\ &\quad - [4\Delta H^{\circ}_{\text{обр}}(\text{NH}_3)_{\text{г}} + 5\Delta H^{\circ}_{\text{обр}}(\text{O}_2)_{\text{г}}]; \\ \Delta H^{\circ}_{\text{р-ции}} &= [4 \cdot 91 + 6 \cdot (-286)] - [4 \cdot (-46) + 5 \cdot 0] = \\ &= -1168 \text{ кДж/моль.}\end{aligned}$$

*Ответ:* тепловой эффект реакции  $-1168$  кДж/моль, т.е.  $\Delta H^{\circ}_{\text{р-ции}} < 0$ , процесс экзотермический.

**3.** Определите тепловой эффект реакции синтеза диэтилового эфира, применяемого в медицине для наркоза, при 298 К:



если известны стандартные энтальпии сгорания веществ, участвующих в реакции:  $\Delta H^{\circ}_{\text{сгор}}(\text{C}_2\text{H}_5\text{OC}_2\text{H}_5(\text{ж})) = -2727$  кДж/моль;

$$\Delta H^{\circ}_{\text{сгор}}(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{ж})) = -1371 \text{ кДж/моль};$$

$$\Delta H^{\circ}_{\text{сгор}}(\text{H}_2\text{O}(\text{ж})) = 0 \text{ кДж/моль.}$$

**Решение.**

Согласно второму следствию из закона Гесса, тепловой эффект химической реакции равен разности между суммой теплот сгорания исходных веществ и суммой теплот сгорания продуктов реакции с учетом стехиометрических коэффициентов:

$$\begin{aligned}\Delta H^{\circ}_{\text{р-ции}} &= [2 \cdot \Delta H^{\circ}_{\text{сгор}}(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})_{\text{ж}}] - \\ &\quad - [\Delta H^{\circ}_{\text{сгор}}(\text{C}_2\text{H}_5\text{OC}_2\text{H}_5)_{\text{ж}} + \Delta H^{\circ}_{\text{сгор}}(\text{H}_2\text{O})_{\text{ж}}] = \\ &= [2 \cdot (-1371)] - [-2727 + 0] = -15 \text{ кДж/моль.}\end{aligned}$$

*Ответ:* тепловой эффект синтеза диэтилового эфира составляет  $-15$  кДж/моль.

**4.** Вычислите тепловой эффект реакций ( $\Delta H^{\circ}_{\text{р-ции}}$ ) при с.у.:  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(\text{р-р}) \rightarrow 2\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{ж}) + 2\text{CO}_2(\text{г})$ , пользуясь справочными значениями стандартных теплот (энтальпий) сгорания веществ.

**Решение.**

По закону Гесса:

$$\Delta H_{\text{р-ции}}^{\circ} = \sum \eta_i \Delta H_{\text{сгор(исх в-в)}}^{\circ} - \sum \eta_j \Delta H_{\text{сгор(прод р-ции)}}^{\circ};$$

$$\Delta H_{\text{р-ции}}^{\circ} = [\Delta H_{\text{сгор}}^{\circ} (\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)_{\text{р-р}}] - [2 \cdot \Delta H_{\text{сгор}}^{\circ} (\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})_{\text{ж}}];$$

$$\Delta H_{\text{р-ции}}^{\circ} = [-2815,8] - [2 \cdot (-1366,9)] = -82 \text{ кДж/моль.}$$

*Ответ:* тепловой эффект реакции спиртового брожения глюкозы при с.у. равен  $-82 \text{ кДж/моль}$ .

**5.** Вычислите количество теплоты, которое выделится при окислении 90 г глюкозы при с.у.

**Решение.**

$$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(\text{ТВ}) + 6\text{O}_2(\text{Г}) \rightarrow 6\text{CO}_2(\text{Г}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{Ж});$$

$$\Delta H_{\text{р-ции}}^{\circ} = [6\Delta H_{\text{обр}}^{\circ} (\text{CO}_2)_{\text{Г}} + 6\Delta H_{\text{обр}}^{\circ} (\text{H}_2\text{O})_{\text{Ж}}] -$$

$$- [\Delta H_{\text{обр}}^{\circ} (\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)_{\text{ТВ}} + 6\Delta H_{\text{обр}}^{\circ} (\text{O}_2)_{\text{Г}}];$$

$$\Delta H_{\text{р-ции}}^{\circ} = [6 \cdot (-286) + 6 \cdot (-393)] - [-1273 + 6 \cdot 0] =$$

$$= -2801 \text{ кДж/моль};$$

$$Q_{\text{р-ции}} = -\Delta H_{\text{р-ции}}^{\circ} \cdot n(\text{глюкозы}) = -\Delta H_{\text{р-ции}}^{\circ} \cdot \frac{m_{\text{глюкозы}}}{M_{\text{глюкозы}}};$$

$$Q_{\text{р-ции}} = +2801 \cdot \frac{90}{180} = 1400,5 \text{ кДж.}$$

*Ответ:* при окислении 90 г глюкозы при с.у. выделяется 1400,5 кДж.

**6.** Энтальпия сгорания глюкозы равна  $-2810 \text{ кДж/моль}$  при 298 К. Сколько г глюкозы нужно израсходовать, чтобы подняться по лестничному проему на 3 м? Принять, что в полезную работу можно обратить 25% энтальпии реакции.

**Решение.**

Максимальная полезная работа, которая может быть совершена человеком в результате окисления 1 г глюкозы кислородом (с учетом КПД организма):

$$A_{\max} = -n_{(\text{глюк.})} \cdot \Delta H_{\text{сгор(глюк.)}} \cdot \eta;$$

$$A_{\max} = - \frac{1 \text{ г}}{180 \text{ г/моль}} \cdot (-2810 \text{ кДж/моль}) \cdot 0,25 = 3,90 \text{ кДж.}$$

Работа, необходимая для подъема человека массой 70 кг на высоту 3 м, составляет:

$$A = m \cdot g \cdot h = 70 \text{ кг} \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 \cdot 3 \text{ м} = 2058 \text{ Дж} = 2,058 \text{ кДж.}$$

Следовательно, если окисляется 1 г глюкозы, то полезная работа равна 3,90 кДж, а если полезная работа равна 2,058 кДж, то:

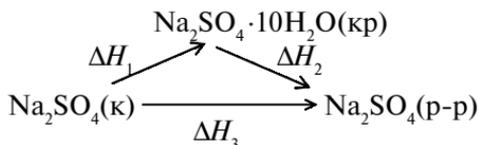
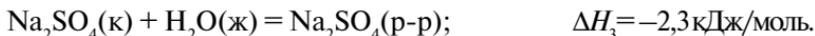
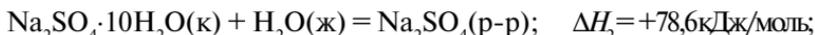
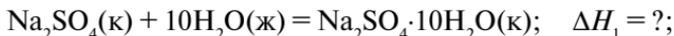
$$m_{(\text{глюкозы})} = \frac{A}{A_{\max}} \cdot 1 \text{ г} = \frac{2,058}{3,90} \cdot 1 = 0,528 \text{ г.}$$

*Ответ:* необходимо израсходовать 0,528 г глюкозы.

**7.** Рассчитайте энтальпию гидратации сульфата натрия, если известно, что энтальпия растворения безводной соли  $\text{Na}_2\text{SO}_4(\text{к})$  равна  $-2,3 \text{ кДж/моль}$ , а энтальпия растворения кристаллогидрата  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}(\text{к})$  равна  $+78,6 \text{ кДж/моль}$ .

**Решение.**

При растворении безводной соли происходят ее гидратация и последующее растворение кристаллогидрата в воде. Эти процессы могут быть выражены с помощью треугольника Гесса и следующих термохимических уравнений:



В соответствии с законом Гесса энтальпия процесса растворения безводной соли ( $\Delta H_3$ ) равна алгебраической сумме энтальпий гидратации безводной соли до кристаллогидрата ( $\Delta H_1$ ) и энтальпии растворения кристаллогидрата ( $\Delta H_2$ ):

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

Поэтому энтальпия гидратации  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  будет равна:

$$\Delta H_1 = \Delta H_3 - \Delta H_2 = -2,3 - 78,6 = -80,9 \text{ кДж/моль.}$$

*Ответ:* энтальпия гидратации сульфата натрия равна  $-80,9$  кДж/моль.

**8.** При растворении 715 г кристаллической соды  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  было поглощено 167,36 кДж тепла. Какова теплота растворения кристаллогидрата?

**Решение.**

Энтальпией растворения называют тепловой эффект растворения 1 моль вещества в столь большом объеме растворителя, при котором дальнейшее прибавление последнего не вызывает дополнительных тепловых эффектов.

$$n(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = \frac{715 \text{ г}}{286 \text{ г/моль}} = 2,5 \text{ моль;}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{р-ния}}(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O})_{(\text{кр})} &= -\frac{Q(\text{к})}{n(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O})} = \\ &= -\frac{-167,36}{2,5} = 66,94 \text{ кДж/моль.} \end{aligned}$$

*Ответ:* теплота растворения  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  равна 66,94 кДж/моль.

**9.** При растворении 10 г хлорида аммония в 233 г воды температура понизилась на 2,8 °С. Определите тепловой эффект растворения соли, если удельная теплоемкость раствора 4,18 Дж/г · град.

**Решение.**

$$\Delta H_{\text{р-ния}} = \pm \frac{Q}{n},$$

где  $Q$  — количество теплоты, выделяющейся или поглощающейся при растворении соли;  $n$  — количество растворяемого вещества.

$$Q = \bar{c} \cdot m_{(\text{р-ра})} \cdot \Delta t,$$

где  $\bar{c}$  — удельная теплоемкость, 4,18 Дж (г · град);

$\Delta t$  — изменение температуры раствора при растворении соли.

$$n = \frac{m}{M}.$$

Так как температура раствора понизилась,  $\Delta H_{\text{р-ния}} > 0$ ;

$$\Delta H_{\text{р-ния}} = \frac{\bar{c} \cdot m_{\text{р-ра}} \cdot \Delta t^{\circ} \cdot M}{m_{\text{соли}}},$$

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{р-ния}} &= \frac{4,18 \text{ Дж}/(\text{г} \cdot \text{град}) \cdot 243 \text{ г} \cdot 2,8 \text{ град} \cdot 53,5 \text{ г/моль}}{10 \text{ г}} = \\ &= 15216 \text{ Дж/моль} = 15,216 \text{ кДж/моль}. \end{aligned}$$

**Ответ:** при растворении соли поглотилось 15,216 кДж/моль теплоты.

**10.** Определите калорийность 350 г пищевого продукта, содержащего 50% воды, 30% белка, 15% жиров и 5% углеводов.

**Решение.**

$$m(\text{белка}) = 350 \cdot 0,30 = 105 \text{ г};$$

$$m(\text{углев.}) = 350 \cdot 0,05 = 17,5 \text{ г};$$

$$m(\text{жир.}) = 350 \cdot 0,15 = 52,5 \text{ г}.$$

Калорийность белков и углеводов составляет 17,1 кДж/г, калорийность жиров равна 38,0 кДж/г.

Калорийность пищевого продукта равна:

$$105 \cdot 17,1 + 17,5 \cdot 17,1 + 52,5 \cdot 38,0 = 4089,75 \text{ кДж}$$

или  $\frac{4089,75}{4,18} = 978,4 \text{ ккал}$ ; (1 ккал = 4,18 кДж).

*Ответ:* калорийность 350 г пищевого продукта составляет 4089,75 кДж, или 978,4 ккал.

**11.** Человек в теплой комнате съедает 100 г сыра (энергетическая ценность ( $q$ ) его составляет 15,52 кДж/г). Если предположить, что в организме не происходит накопление энергии, то какую массу воды он выделит, чтобы установилась первоначальная температура?

**Решение.**

Потоотделение охлаждает тело, поскольку для испарения воды требуется энергия. Мольная энтальпия парообразования воды равна 44 кДж/моль. Испарение воды происходит при постоянном давлении, поэтому можно приравнять энтальпию испарения воды к количеству теплоты, которую необходимо выделить:

$$Q = n(\text{H}_2\text{O}) \cdot \Delta H_{\text{исп}}(\text{H}_2\text{O}).$$

Энергия, получаемая при усвоении сыра, составляет:

$$Q = m(\text{сыра}) \cdot q(\text{сыра}) = 100 \text{ г} \cdot 15,52 \text{ кДж/г} = 1552 \text{ кДж}.$$

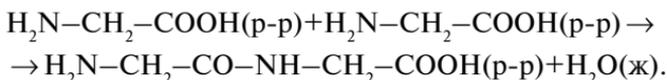
Тогда количество и масса воды, которые необходимо выделить, равны:

$$n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{Q}{\Delta H_{\text{исп}}} = \frac{1552 \text{ кДж}}{44 \text{ кДж/моль}} = 35,3 \text{ моль}.$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = n(\text{H}_2\text{O}) \cdot M(\text{H}_2\text{O}) = 35,3 \text{ моль} \cdot 18 \text{ г/моль} = 635 \text{ г}.$$

*Ответ:* необходимо выделить 635 г воды.

**12.** Вычислите изменение энтропии реакции образования дипептида при с.у.:



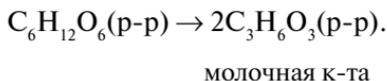
**Решение.**

Изменение энтропии при с.у. в химической реакции ( $\Delta S^\circ_{\text{р-ции}}$ ) определяется разностью алгебраических сумм стандартных энтропий (справочные данные, см. приложение) продуктов реакции и исходных веществ, с учетом соответствующих коэффициентов:

$$\begin{aligned}\Delta S^\circ_{\text{р-ции}} &= \sum n_i S^\circ_{\text{прод. р-ции}} - \sum n_i S^\circ_{\text{исх. в-в}}; \\ \Delta S^\circ_{\text{р-ции}} &= (231+70) - (159+159) = 301 - 318 = \\ &= -17 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{K}).\end{aligned}$$

*Ответ:*  $\Delta S = -17 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{K})$ , энтропия уменьшается, что не благоприятствует протеканию реакции.

**13.** Вычислите изменение энергии Гиббса, являющейся критерием самопроизвольности процессов, для реакции гликолиза при с.у.:



**Решение.**

Изменение энергии Гиббса реакции равно алгебраической сумме энергий Гиббса образования стехиометрического количества продуктов за вычетом алгебраической суммы энергий Гиббса образования стехиометрического количества реагентов:

$$\begin{aligned}\Delta G^\circ_{\text{р-ции}} &= \sum n_i \Delta G^\circ_{\text{прод. р-ции}} - \sum n_i \Delta G^\circ_{\text{исх. в-в}}; \\ \Delta G^\circ_{\text{р-ции}} &= 2 \cdot (-539) - (-917) = -161 \text{ кДж}/\text{моль} \text{ (справочные} \\ &\text{данные, см. приложение)}.\end{aligned}$$

*Ответ:*  $\Delta G^\circ_{\text{р-ции}} = -161 \text{ кДж}/\text{моль}$ , реакция экзэргоническая, протекает самопроизвольно при с.у.

**14.** Проверьте, нет ли угрозы, что оксид азота(I), применяемый в медицине в качестве наркотического средства, будет окисляться кислородом воздуха до весьма токсичного оксида азота(II):  $2\text{N}_2\text{O}(\text{г}) + \text{O}_2(\text{г}) = 4\text{NO}(\text{г})$ .

**Решение.**

Для ответа на поставленный в задаче вопрос необходимо рассчитать изменение энергии Гиббса для предполагаемой реакции,

воспользовавшись значениями стандартных энергий Гиббса из таблицы термодинамических величин:

$$\begin{aligned}\Delta G^{\circ} &= 4\Delta G^{\circ}_{\text{обр}}(\text{NO}) - 2\Delta G^{\circ}_{\text{обр}}(\text{N}_2\text{O}) = 4 \cdot 87 - 2 \cdot 104 = \\ &= 140 \text{ кДж/моль.}\end{aligned}$$

*Ответ:* так как  $\Delta G^{\circ} > 0$ , реакция при с.у. самопроизвольно не пойдет.

**15.** Вычислите энергию Гиббса тепловой денатурации трипсина при 50 °С, если при 25 °С  $\Delta H^{\circ}_{\text{р-ции}} = +283 \text{ кДж/моль}$ , а  $\Delta S^{\circ}_{\text{р-ции}} = +288 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$ . Считать, что изменения энтальпии и энтропии не зависят от температуры в данном диапазоне. Оцените вклад энтальпийного и энтропийного факторов.

**Решение.**

$$\Delta G^{\circ}_{\text{р-ции}} = \Delta H^{\circ} - T\Delta S^{\circ};$$

$$\begin{aligned}\Delta G^{\circ}_{\text{р-ции}} &= 283 \text{ кДж/моль} - 323 \text{ К} \cdot 288 \cdot 10^{-3} \text{ кДж/(моль} \cdot \text{К)} = \\ &= +190 \text{ кДж/моль.}\end{aligned}$$

*Ответ:*  $\Delta G^{\circ}_{\text{р-ции}} > 0$ , реакция эндэргоническая за счет энтальпийного фактора.

**16.** Для реакции  $2\text{NO}_2(\text{г}) \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4(\text{г})$ , а) рассчитайте  $\Delta G^{\circ}_{\text{р-ции}}$  при 298 К; б) вычислите температуру, при которой оба направления процесса равновероятны, если

$$\Delta H^{\circ}_{\text{р-ции}} = -57 \text{ кДж/моль}; \Delta S^{\circ}_{\text{р-ции}} = -176 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}.$$

**Решение.**

$$\Delta G^{\circ}_{\text{р-ции}} = \Delta H^{\circ} - T \cdot \Delta S^{\circ};$$

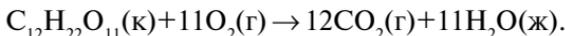
$$\begin{aligned}\Delta G^{\circ}_{\text{р-ции}} &= -57 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)} - 298 \text{ К} \cdot (-176 \cdot 10^{-3}) \text{ кДж/(моль} \cdot \text{К)} = \\ &= -4,55 \text{ кДж/моль.}\end{aligned}$$

Оба процесса равновероятны при  $\Delta G^{\circ}_{\text{р-ции}} = 0$ , т.е.  $\Delta H^{\circ} = T \cdot \Delta S^{\circ}$ ;

$$T = \frac{\Delta H^{\circ}}{\Delta S^{\circ}}; T = \frac{-57000 \text{ Дж/моль}}{-176 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}} = 323,86 \text{ К}.$$

*Ответ:* а)  $\Delta G^{\circ}_{\text{р-ции}} = -4,55 \text{ кДж/моль}$  при 298 К;  
б)  $T = 323,86 \text{ К}$ .

**17.** Пользуясь справочными данными, рассчитайте изменения энтропии, энергии Гиббса и энтальпии в процессе усвоения в организме человека сахарозы, который сводится к ее окислению:



**Решение.**

Справочные данные:

$$\Delta H_{\text{обр}}^{\circ}(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11})_{\text{к}} = -2222 \text{ кДж/моль};$$

$$\Delta H_{\text{обр}}^{\circ}(\text{O}_2)_{\text{г}} = 0 \text{ кДж/моль};$$

$$\Delta H_{\text{обр}}^{\circ}(\text{CO}_2)_{\text{г}} = -393,5 \text{ кДж/моль};$$

$$\Delta H_{\text{обр}}^{\circ}(\text{H}_2\text{O})_{\text{ж}} = -286 \text{ кДж/моль};$$

$$S_{\text{обр}}^{\circ}(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11})_{\text{к}} = +360 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)};$$

$$S_{\text{обр}}^{\circ}(\text{O}_2)_{\text{г}} = +205 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)};$$

$$S_{\text{обр}}^{\circ}(\text{H}_2\text{O})_{\text{ж}} = +70 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)};$$

$$S_{\text{обр}}^{\circ}(\text{CO}_2)_{\text{г}} = +214 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)};$$

$$\Delta G_{\text{обр}}^{\circ}(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11})_{\text{к}} = -1545 \text{ кДж/моль};$$

$$\Delta G_{\text{обр}}^{\circ}(\text{O}_2)_{\text{г}} = 0 \text{ кДж/моль};$$

$$\Delta G_{\text{обр}}^{\circ}(\text{CO}_2)_{\text{г}} = -394,4 \text{ кДж/моль};$$

$$\Delta G_{\text{обр}}^{\circ}(\text{H}_2\text{O})_{\text{ж}} = -237 \text{ кДж/моль}.$$

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{р-ции}}^{\circ} &= [12 \cdot \Delta H_{\text{обр}}^{\circ}(\text{CO}_2)_{\text{г}} + 11 \cdot \Delta H_{\text{обр}}^{\circ}(\text{H}_2\text{O})_{\text{ж}}] - \\ &\quad - [\Delta H_{\text{обр}}^{\circ}(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11})_{\text{к}} + 11 \cdot \Delta H_{\text{обр}}^{\circ}(\text{O}_2)_{\text{г}}] = \\ &= [12 \cdot (-393,5) + 11 \cdot (-286)] - [-2222 + 11 \cdot 0] = \\ &= -5646 \text{ кДж/моль}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta S_{\text{р-ции}}^{\circ} &= [12 \cdot S_{\text{обр}}^{\circ}(\text{CO}_2)_{\text{г}} + 11 \cdot S_{\text{обр}}^{\circ}(\text{H}_2\text{O})_{\text{ж}}] - \\ &\quad - [S_{\text{обр}}^{\circ}(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11})_{\text{к}} + 11 \cdot S_{\text{обр}}^{\circ}(\text{O}_2)_{\text{г}}] = \\ &= [12 \cdot 214 + 11 \cdot 70] - [360 + 11 \cdot 205] = \\ &= +723 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta G_{\text{р-ции}}^{\circ} &= [12 \cdot \Delta G_{\text{обр}}^{\circ}(\text{CO}_2)_{\text{г}} + 11 \cdot \Delta G_{\text{обр}}^{\circ}(\text{H}_2\text{O})_{\text{ж}}] - \\ &\quad - [\Delta G_{\text{обр}}^{\circ}(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11})_{\text{к}} + 11 \cdot \Delta G_{\text{обр}}^{\circ}(\text{O}_2)_{\text{г}}] = \end{aligned}$$

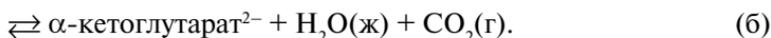
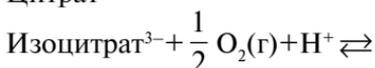
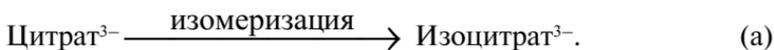
$$= [12 \cdot (-394,4) + 11 \cdot (-237)] - [(-1545) - 0 \cdot 11] =$$

$$= -5794,8 \text{ кДж/моль.}$$

*Ответ:*  $\Delta H^\circ = -5646 \text{ кДж/моль}$ ;  $\Delta S^\circ = +723 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$ ;  $\Delta G^\circ = -5794,8 \text{ кДж/моль}$ , реакция экзэргоническая.

**18.** В цикле Кребса цитрат превращается в изоцитрат, а затем в  $\alpha$ -кетоглутарат. Рассчитайте величину  $\Delta G^\circ$  для этих реакций, оцените полученный результат.

**Решение.**



$$\Delta G^\circ_{\text{р-ции}} (\text{а}) = \Delta G^\circ (\text{изоцитрат}) - \Delta G^\circ (\text{цитрат});$$

$$\Delta G^\circ_{\text{р-ции}} (\text{а}) = -1160,6 \text{ кДж/моль} - (-1167,2 \text{ кДж/моль}) =$$

$$= +6,6 \text{ кДж/моль};$$

$\Delta G^\circ_{\text{р-ции}} > 0$ , т.е. реакция самопроизвольно не идет при с.у.

$$\Delta G^\circ_{\text{р-ции}} = \sum n_i \Delta G^\circ_{\text{прод. р-ции}} - \sum n_i \Delta G^\circ_{\text{исх. в-в}};$$

$$\Delta G^\circ_{\text{р-ции}} (\text{б}) = [-796,8 + (-237) + (-394)] - [-1160,6] =$$

$$= -267,2 \text{ кДж/моль.}$$

*Ответ:*  $\Delta G^\circ_{\text{р-ции}} (\text{а}) = +6,6 \text{ кДж/моль}$ ;  $\Delta G^\circ_{\text{р-ции}} (\text{б}) = -267,2 \text{ кДж/моль}$ . Уменьшение свободной энергии в реакции (б) способствует постоянному распаду изоцитрата и протеканию цикла в прямом направлении, несмотря на то, что изомеризация [реакция (а)] самопроизвольно не идет.

**19.** Вычислите среднюю скорость реакции, если начальная концентрация исходных веществ 6 моль/л, а через 2 мин – 2 моль/л.

**Решение.**

$$v_{\text{ср}} = \pm \frac{c_{\text{кон}} - c_{\text{нач}}}{\Delta\tau} \quad \text{или} \quad v_{\text{ср}} = \left| \frac{\Delta c}{\Delta\tau} \right|;$$

$$v_{\text{ср}} = \left| \frac{2-6}{2} \right| = 2 \text{ моль}/(\text{л} \cdot \text{мин}).$$

*Ответ:* средняя скорость реакции 2 моль/(л · мин).

**20.** Константа скорости гидролиза сахарозы при 298 К равна 0,0032 час<sup>-1</sup>. Рассчитайте: а) время, за которое гидролизу подвергнется 10% исходного количества сахарозы; б) какая часть сахарозы подвергнется гидролизу через 5 суток; в) период полупревращения реакции.

**Решение.**

а) так как константа скорости имеет размерность  $\tau^{-1}$ , то данная реакция является реакцией 1-го порядка, а следовательно,

$$\ln c - \ln c_0 = -kt;$$

$$\ln(c_0/c) = -kt;$$

$$c = c_0 - 0,1c_0 = 0,9c_0;$$

$$\ln \frac{0,9c_0}{c_0} = -kt;$$

$$t = \frac{\ln 0,9}{-k} = \frac{-0,105}{-3,2 \cdot 10^{-3}} = 32,8 \text{ часа};$$

б)  $\ln(c_0/c) = -kt = -0,0032 \text{ час}^{-1} \cdot 5 \cdot 24 \text{ час} = -0,384;$

$$c_0/c = e^{-0,384} = 1,45;$$

$c/c_0 = 0,69$  — то есть сахарозы останется 69,0% от исходного количества.

Таким образом, за 5 суток подвергнется гидролизу:

$$100\% - 69,0\% = 31,0\% \text{ сахарозы};$$

$$в) \tau_{1/2} = \ln 2/k = 0,693/(3,2 \cdot 10^{-3}) = 217 \text{ час.}$$

Ответ: а) 32,8 часа; б) 31,0%; в) 217 часов.

## 21. Константа скорости реакции



при 15 °С равна 0,0454 мин<sup>-1</sup>. Исходная концентрация уксусно-го ангидрида была равна 0,5 моль/л. Чему будет равна скорость реакции в тот момент, когда концентрация уксусной кислоты станет равной 0,1 моль/л?

### Решение.

Учитывая, что вода в избытке, кинетическое уравнение для данной реакции:  $v = K \cdot c((\text{CH}_3\text{CO})_2\text{O})$ .

По уравнению: 1 моль  $(\text{CH}_3\text{CO})_2\text{O} \rightarrow 2$  моль  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ;

по условию: 0,05 моль  $(\text{CH}_3\text{CO})_2\text{O} \leftarrow 0,1$  моль  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ;

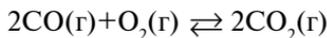
следовательно,  $c((\text{CH}_3\text{CO})_2\text{O}) = 0,5 - 0,05 = 0,45$  моль/л.

Константа скорости реакции от концентрации реагентов не зависит, поэтому:

$$v_{\text{р-ции}} = 0,0454 \cdot 0,45 = 0,0204 \text{ моль}/(\text{л} \cdot \text{мин}).$$

Ответ: скорость реакции в момент, когда  $c(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,1$  моль/л, составит 0,0204 моль/(л · мин).

## 22. Как изменится скорость прямой реакции



при увеличении концентрации CO в 3 раза?

**Решение.**

$$v_1 = k \cdot c^2(\text{CO}) \cdot c(\text{O}_2); \quad v_2 = k \cdot (3c)^2(\text{CO}) \cdot c(\text{O}_2);$$

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{k \cdot (3c)^2(\text{CO}) \cdot c(\text{O}_2)}{k \cdot c^2(\text{CO}) \cdot c(\text{O}_2)} = 9.$$

*Ответ:* скорость реакции увеличится в 9 раз.

**23.** Константа скорости распада пенициллина при температуре 36 °С равна  $6 \cdot 10^{-6} \text{ с}^{-1}$ , а при 41 °С —  $1,2 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ . Вычислите температурный коэффициент реакции.

**Решение.**

По правилу Вант-Гоффа:  $k_2 = k_1 \cdot \gamma^{\frac{t_2 - t_1}{10}}$ .

$$\gamma^{\frac{41-36}{10}} = \frac{k_2}{k_1} = \frac{1,2 \cdot 10^{-5}}{0,6 \cdot 10^{-5}} = 2; \quad \gamma^{0,5} = 2; \quad \gamma = 4.$$

*Ответ:* температурный коэффициент реакции равен 4.

**24.** Во сколько раз увеличится скорость реакции, протекающей при 298 К, если энергию активации ( $E_a$ ) уменьшить на 4 кДж/моль?

**Решение.**

Из уравнения Аррениуса следует:

$$\ln \frac{k_2}{k_1} = -\frac{E_{a2} - E_{a1}}{RT};$$

$$\ln \frac{k_2}{k_1} = -\frac{-4 \cdot 10^3 \text{ Дж/моль}}{8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)} \cdot 298 \text{ К}} = 1,615;$$

$$\frac{k_2}{k_1} = e^{1,615} = 5,03.$$

*Ответ:* скорость реакции увеличится в 5,03 раза.

**25.** Вычислите температурный коэффициент ( $\gamma$ ) константы скорости реакции разложения пероксида водорода в температурном интервале  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $55\text{ }^{\circ}\text{C}$  при  $E_a = 75,4\text{ кДж/моль}$ .

**Решение.**

$$\ln \frac{k_2}{k_1} = -\frac{E_a}{R} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \text{ или}$$

$$\lg \frac{k_2}{k_1} = \frac{E_a}{2,3 \cdot R} \cdot \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \text{ (из уравнения Аррениуса);}$$

$$\lg \frac{k_2}{k_1} = \frac{75,4 \cdot 10^3 \text{ Дж/моль}}{2,3 \cdot 8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}} \left( \frac{1}{298} - \frac{1}{328} \right) = 1,211;$$

$$\frac{k_2}{k_1} = 10^{1,211} = 16,25;$$

по правилу Вант-Гоффа:  $\frac{k_2}{k_1} = \gamma^{\frac{t_2-t_1}{10}}$ ;

$$16,25 = \gamma^3 \Rightarrow \gamma = \sqrt[3]{16,25} = 2,53.$$

*Ответ:*  $\gamma = 2,53$ .

**26.** Вычислите энергию активации в указанном интервале температур, если константа скорости разложения оксида азота(V) равна при  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$   $8,76 \cdot 10^{-3}\text{ мин}^{-1}$ , а при  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$  –  $2,99 \cdot 10^{-2}\text{ мин}^{-1}$ .

**Решение.**

Энергию активации можно вычислить, пользуясь одной из форм уравнения Аррениуса:

$$E_a = \frac{2,3 \cdot R \cdot T_1 \cdot T_2}{T_1 - T_2} \cdot \lg \frac{k_1}{k_2};$$

$$T_1 = 273 + 35 = 308 \text{ К};$$

$$T_2 = 273 + 45 = 318 \text{ К};$$

$$E_a = \frac{2,3 \cdot 8,31 \cdot 308 \cdot 318}{308 - 318} \cdot \lg \frac{8,76 \cdot 10^{-3}}{2,99 \cdot 10^{-2}} =$$

$$= 99777,8 \text{ Дж} \approx 99,8 \text{ кДж/моль.}$$

*Ответ:*  $E_a = 99,8 \text{ кДж/моль}$  в указанном интервале температур.

**27.** При лечении онкологических заболеваний в опухоль вводят препарат, содержащий радионуклид иридий-192. Рассчитайте, какая часть введенного радионуклида останется в опухоли через 10 суток.

**Решение.**

$$\tau_{1/2} = \frac{\ln 2}{k}, \quad (1)$$

где  $\tau_{1/2}$  — период полураспада (справочная величина);

$k$  — константа скорости реакций 1-го порядка, к которым относятся реакции радиоактивного распада.

$$c = c_0 \cdot e^{-kt}, \quad (2)$$

где  $c$  — концентрация радиоактивного вещества через время  $t$ ;

$c_0$  — исходная концентрация радиоактивного вещества;

$k$  — константа скорости реакции радиоактивного распада.

Из уравнения (1):  $k = \frac{\ln 2}{\tau_{1/2}} = \frac{0,693}{74,08 \text{ сут}} = 9,35 \cdot 10^{-3} \text{ сут}^{-1}$ .

Уравнение (2) в логарифмической форме:

$$\ln c = \ln c_0 - kt \Rightarrow \ln c - \ln c_0 = -kt; \Rightarrow \ln \frac{c}{c_0} = -kt;$$

$$\ln \frac{c}{c_0} = -9,35 \cdot 10^{-3} \text{ сут}^{-1} \cdot 10 \text{ сут} = -9,35 \cdot 10^{-2}; \frac{c}{c_0} = 0,91,$$

т.е. 91%.

*Ответ:* 91% введенного радионуклида останется в опухоли через 10 суток.

**28.** Какая доля (%) новокаина разложится за 10 сут. его хранения при 293 К, если константа скорости гидролиза новокаина при 313 К равна  $1 \cdot 10^{-5} \text{ сут}^{-1}$ , а энергия активации ( $E_a$ ) реакции равна 55,2 кДж/моль.

**Решение.**

По уравнению Аррениуса находим константу скорости реакции 1-го порядка:

$$\ln \frac{k_2}{k_1} = \frac{E_a}{R} \cdot \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) = \frac{E_a \cdot (T_2 - T_1)}{R \cdot T_1 \cdot T_2};$$

$$\ln \frac{k_2}{k_1} = \frac{55200(313 - 293)}{8,31 \cdot 313 \cdot 293} = 1,449;$$

$$k_1 = \frac{k_2}{e^{1,449}} = \frac{1,0 \cdot 10^{-5}}{e^{1,449}} = 2,35 \cdot 10^{-6} \text{ сут}^{-1}.$$

Для реакций 1-го порядка:  $c = c_0 \cdot e^{-kt}$ , где  $c$  – концентрация вещества через время  $t$ ;  $c_0$  – исходная концентрация вещества;  $k$  – константа скорости реакции 1-го порядка.

$\frac{c}{c_0} = e^{-kt} = e^{-2,35 \cdot 10^{-6} \cdot 10} = 0,9999765$  осталось неразложившегося препарата.

Долю новокаина, разложившегося за 10 суток, находим по формуле:

$$\omega = \frac{c_0 - c}{c_0} = 1 - \frac{c}{c_0} = 1 - 0,9999765 = 2,35 \cdot 10^{-5} \text{ или } 0,002235\%.$$

**Ответ:** новокаин практически не разлагается за 10 сут. хранения при 293 К.

**29.** При авариях на АЭС появляется радиоактивный изотоп йода  $^{131}\text{I}$ . За какое время этот изотоп распадается на 99%?

**Решение.**

Константа скорости радиоактивного распада определяется по формуле:

$$k = \frac{\ln 2}{\tau_{1/2}},$$

где  $\tau_{1/2}$  – период полупревращения = 8,054 сут ( справочная величина);

$k$  – константа скорости реакции 1-го порядка.

$$k = \frac{\ln 2}{8,054} = 8,61 \cdot 10^{-2} \text{ сут}^{-1}.$$

По условию  $\frac{c}{c_0} = 0,01$ , если распадается 99% изотопа:

$$\ln \frac{c}{c_0} = -kt \Rightarrow t = -\frac{\ln 0,01}{8,61 \cdot 10^{-2} \text{ сут}^{-1}} = 53,49 \text{ сут} \approx 53,5 \text{ сут}.$$

*Ответ:* изотоп  $^{131}\text{I}$  распадается на 99% через 53,5 сут.

**30.** В системе  $2\text{NO}(\text{г}) + \text{O}_2(\text{г}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(\text{г})$  равновесные концентрации веществ равны:  $[\text{NO}] = 0,2$  моль/л,  $[\text{O}_2] = 0,3$  моль/л,  $[\text{NO}_2] = 0,4$  моль/л. Рассчитайте  $K_{\text{равн.}}$  и оцените положение равновесия.

**Решение.**

В соответствии с законом действующих масс для обратимых реакций:

$$K_{\text{равн.}} = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{NO}]^2 \cdot [\text{O}_2]}; K_{\text{равн.}} = \frac{(0,4)^2}{(0,2)^2 \cdot 0,3} = 13,3.$$

*Ответ:*  $K_{\text{равн.}} = 13,3$ ;  $K_{\text{равн.}} > 1$ , следовательно, равновесие смещено вправо.

**31.** В водном растворе метиламин является слабым основанием:  $\text{CH}_3\text{NH}_{2(\text{водн})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{NH}_3^+_{(\text{водн})} + \text{OH}^-_{(\text{водн})}$ .

Определите значение константы равновесия, если исходная концентрация метиламина была равна 0,1 моль/л, а концентрация гидроксид-ионов после установления равновесия равна  $6,6 \cdot 10^{-3}$  моль/л.

**Решение.**

Существует три способа выражения константы равновесия:  $K_c$  (через равновесные концентрации),  $K_p$  (через парциальные давления для газов),  $K_a$  (через активности). По условию задачи используем способ выражения константы равновесия через равновесные концентрации  $K_c$ .

Примем объем раствора равным 1 л.

Число моль:  $\text{CH}_3\text{NH}_{2(\text{водн})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{NH}_3^+_{(\text{водн})} + \text{OH}^-_{(\text{водн})}$   
в исх.

	0,1	изб.	0	0
р-ре				
в равно-	0,1 – 6,6 · 10 <sup>-3</sup>	изб.	6,6 · 10 <sup>-3</sup>	6,6 · 10 <sup>-3</sup> .
веси				

По закону действующих масс  $K_c^* = \frac{[\text{CH}_3\text{NH}_3^+][\text{OH}^-]}{[\text{CH}_3\text{NH}_2][\text{H}_2\text{O}]}$ , но так как вода находится в избытке ( $[\text{H}_2\text{O}] \approx 55,55$  моль/л) по отношению к реагентам и продуктам реакции и при протекании реакции ее концентрация остается практически постоянной, то концентрацию воды вносят в константу

$$K_c = K_c^*[\text{H}_2\text{O}], \text{ тогда } K_c = \frac{[\text{CH}_3\text{NH}_3^+][\text{OH}^-]}{[\text{CH}_3\text{NH}_2]};$$

$$K_c = \frac{(6,6 \cdot 10^{-3}) \cdot (6,6 \cdot 10^{-3})}{(0,1 - 6,6 \cdot 10^{-3})} = 4,7 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л.}$$

Ответ:  $K_{\text{равн.}} = 4,7 \cdot 10^{-4}$  моль/л.

**32.** Константа равновесия ( $K_{\text{равн.}}$ ) реакции  $3\text{H}_2(\text{г}) + \text{N}_2(\text{г}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{г})$  при некоторой температуре равна 2. Сколько моль азота следует ввести на 1 л газовой смеси, чтобы 75% водорода превратить в аммиак, если исходная концентрация водорода была равна 10 моль/л.

**Решение.**

При равновесии концентрация водорода  $[\text{H}_2] = 10,0 - 7,5(75\%) = 2,5$  моль/л.

Так как по уравнению  $n(\text{H}_2) : n(\text{NH}_3) = 3:2$ , то  $n(\text{NH}_3)$ , которое образовалось в 1 л газовой смеси, равно:

$$n(\text{NH}_3) = \frac{2}{3} n(\text{H}_2) = \frac{2}{3} \cdot 7,5 = 5 \text{ моль, где } n(\text{H}_2) \text{ — это количество водорода, вступившего в реакцию к моменту достижения}$$

равновесия. Таким образом, равновесная концентрация аммиака  $[\text{NH}_3]$  равна 5 моль/л.

Из выражения  $K_{\text{равн.}}$  можно найти  $[\text{N}_2]$ :

$$K_{\text{равн.}} = \frac{[\text{NH}_3]^2}{[\text{H}_2]^3 \cdot [\text{N}_2]} \Rightarrow [\text{N}_2] = \frac{[\text{NH}_3]^2}{[\text{H}_2]^3 \cdot K_{\text{равн.}}};$$

$$[\text{N}_2] = \frac{5^2}{2 \cdot (2,5)^3} = 0,8 \text{ моль/л.}$$

По уравнению  $n(\text{H}_2) : n(\text{N}_2) = 3 : 1$ , следовательно, расход  $\text{N}_2$  составляет  $c(\text{N}_2) = 2,5$  моль/л.

Исходная концентрация азота складывается из равновесной и затраченной в реакции:  $2,5 + 0,8 = 3,3$  моль/л.

*Ответ:* 3,3 моль азота следует ввести в 1 л газовой смеси.

**33.** Обратима ли практически реакция гидролиза глицил-глицина при 310 К, если  $\Delta G_{\text{р-ции}}^0 = -15,08$  кДж/моль?

**Решение.**

$$\Delta G_{\text{р-ции}}^0 = -R \cdot T \cdot \ln K_{\text{равн.}} \quad \text{или} \quad \Delta G_{\text{р-ции}}^0 = -2,3 \cdot R \cdot T \cdot \lg K_{\text{равн.}};$$

$$\lg K_{\text{равн.}} = \frac{\Delta G^0}{-2,3 \cdot R \cdot T} = \frac{-15,08 \cdot 10^3 \text{ Дж/моль}}{-2,3 \cdot 8,31 \text{ Дж/моль} \cdot \text{К} \cdot 310 \text{ К}} = 2,55;$$

$$K_{\text{равн.}} = 10^{2,55} = 355.$$

*Ответ:*  $K_{\text{равн.}} = 355$ ;  $K_{\text{равн.}} > 1$ , следовательно, продуктов реакции больше, чем исходных веществ, однако глубина смещения равновесия не слишком велика, реакция практически обратима.

**34.** Вычислите константу равновесия реакции образования метилового спирта:  $\text{CO}(\text{г}) + 2\text{H}_2(\text{г}) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{OH}(\text{г})$ , при с. у. Сделайте заключение о практической обратимости реакции при с. у.

**Решение.**

Справочные данные:

$$\Delta H_{\text{обр}}^{\circ}(\text{CO})_{\text{г}} = -111 \text{ кДж/моль};$$

$$\Delta H_{\text{обр}}^{\circ}(\text{CH}_3\text{OH})_{\text{г}} = -239 \text{ кДж/моль};$$

$$\Delta H_{\text{обр}}^{\circ}(\text{H}_2)_{\text{г}} = 0 \text{ кДж/моль};$$

$$S_{\text{обр}}^{\circ}(\text{CO})_{\text{г}} = +198 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)};$$

$$S_{\text{обр}}^{\circ}(\text{CH}_3\text{OH})_{\text{г}} = +127 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)};$$

$$S_{\text{обр}}^{\circ}(\text{H}_2)_{\text{г}} = +131 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}.$$

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{р-ции}}^{\circ} &= \Delta H_{\text{обр}}^{\circ}(\text{CH}_3\text{OH})_{\text{г}} - [\Delta H_{\text{обр}}^{\circ}(\text{CO})_{\text{г}} + 2 \cdot \Delta H_{\text{обр}}^{\circ}(\text{H}_2)_{\text{г}}] = \\ &= -239 - (-111 + 0) = -128 \text{ 000 Дж/моль}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta S_{\text{р-ции}}^{\circ} &= S_{\text{обр}}^{\circ}(\text{CH}_3\text{OH})_{\text{г}} - [S_{\text{обр}}^{\circ}(\text{CO})_{\text{г}} + 2 \cdot S_{\text{обр}}^{\circ}(\text{H}_2)_{\text{г}}] = \\ &= +127 - [198 + 2 \cdot 131] = -333 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta G_{\text{р-ции}}^{\circ} &= \Delta H^{\circ} - T\Delta S^{\circ} = \\ &= -128 \text{ 000} - 298 \cdot (-333) = -28 \text{ 766 Дж/моль}; \end{aligned}$$

$$\ln K_{\text{равн.}} = -\frac{\Delta G^{\circ}}{RT} = -\frac{-28766}{8,31 \cdot 298} = 11,6;$$

$$K_{\text{равн.}} = e^{11,6} = 1,11 \cdot 10^5.$$

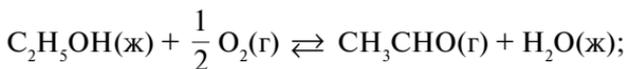
*Ответ:*  $K_{\text{равн.}} = 1,11 \cdot 10^5$ , т. к.  $K \gg 10^3$ , глубина смещения велика, таким образом, реакция при с. у. практически необратима.

**35.** Рассчитайте константу равновесия реакции окисления этанола в уксусный альдегид при 310 К.

**Решение.**

$$\Delta G_{\text{р-ции}}^{\circ} = -2,3 \cdot R \cdot T \cdot \lg K_{\text{равн.}};$$

$$\Delta G_{\text{р-ции}}^{\circ} = \sum n_i \Delta G_{\text{прод. р-ции}}^{\circ} - \sum n_i \Delta G_{\text{исх. в-в}}^{\circ};$$



пользуясь справочными данными, находим  $\Delta G^\circ$  реакции:

$$\Delta G_{\text{р-ции}}^\circ = [-134 + (-237)] - (-175) = -196 \text{ кДж/моль};$$

$$\lg K_{\text{равн.}} = \frac{-\Delta G_{\text{р-ции}}^\circ}{-2,3 \cdot RT};$$

$$\lg K_{\text{равн.}} = \frac{-196 \cdot 10^3 \text{ Дж/моль}}{-2,3 \cdot 8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)} \cdot 310 \text{ К}} = 33,08 \approx 33;$$

$$K_{\text{равн.}} = 10^{33}.$$

*Ответ:*  $K_{\text{равн.}} = 10^{33}$ , т.к.  $K_{\text{равн.}} \gg 10^3$ , реакция практически необратима.

**36.** Определите направление протекания реакции:

$\text{H}_2(\text{г}) + \text{I}_2(\text{г}) \rightleftharpoons 2\text{HI}(\text{г})$  при 298 К и  $c(\text{H}_2) = c(\text{I}_2) = 0,01$  моль/л;  
 $c(\text{HI}) = 1,0$  моль/л.  $K_{\text{равн.}} = 2$ .

**Решение.**

Для ответа на вопрос задачи необходимо воспользоваться уравнением изотермы Вант-Гоффа:

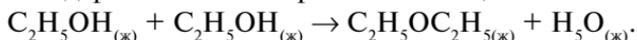
$$\Delta G_{\text{р-ции}} = RT \left( \ln \frac{c^2(\text{HI})}{c(\text{H}_2) \cdot c(\text{I}_2)} - \ln K_{\text{равн.}} \right);$$

$$\begin{aligned} \Delta G_{\text{р-ции}} &= 8,31 \cdot 298 \left( \ln \frac{1^2}{0,01 \cdot 0,01} - \ln 2 \right) = 21091 \text{ Дж/моль} = \\ &= 21,091 \text{ кДж/моль}. \end{aligned}$$

*Ответ:*  $\Delta G_{\text{р-ции}} > 0$ , поэтому реакция в прямом направлении не может идти самопроизвольно.

## Задания для самостоятельного решения

**1.** Вычислите тепловой эффект реакции получения диэтилового эфира из этанола при с.у., пользуясь справочными значениями стандартных теплот образования веществ:



*Ответ:*  $\Delta H^\circ_{\text{р-ции}} = -9,2 \text{ кДж/моль}$ .

**2.** Вычислите тепловой эффект реакции  $\text{C}_2\text{H}_2(\text{г}) + 2\text{H}_2(\text{г}) \rightarrow \text{C}_2\text{H}_6(\text{г})$  при с.у., пользуясь справочными значениями стандартных теплот сгорания веществ.

*Ответ:*  $\Delta H^\circ_{\text{р-ции}} = -336 \text{ кДж/моль}$ .

**3.** Рассчитайте  $\Delta H^\circ_{\text{р-ции}}$  сгорания этанола, если известно, что при сгорании 4,6 г спирта выделяется 137 кДж теплоты.

*Ответ:*  $\Delta H^\circ_{\text{р-ции}} = -1370 \text{ кДж/моль}$ .

**4.** Рассчитайте тепловой эффект реакции спиртового брожения 54 г глюкозы:  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(\text{к}) \rightarrow 2\text{CO}_2(\text{г}) + 2\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{ж})$ , исходя из стандартных энтальпий сгорания глюкозы и этанола.

*Ответ:*  $Q_{\text{р-ции}} = +20,4 \text{ кДж}$ .

**5.** В 100 г трески в среднем содержится 11,6 г белков и 0,3 г жиров. Рассчитайте (в кДж и ккал) энергию, которая выделится при усвоении порции трески массой 228 г. Калорийность белков 17,1 кДж/г, жиров — 38,8 кДж/г.

*Ответ:*  $Q = 478,8 \text{ кДж}$ ;  $Q = 114,5 \text{ ккал}$ .

**6.** Теплоты сгорания углеводов и белков в организме человека составляют 4,1 ккал/г, жиров — 9,3 ккал/г. Среднесуточная потребность в белках, жирах и углеводах для студента составляет соответственно 113, 106 и 451 г. Рассчитайте суточную энергетическую потребность среднестатистического студента.

*Ответ:*  $Q = 3300 \text{ ккал}$ .

**7.** Энтальпия сгорания глюкозы равна  $-2810$  кДж/моль при  $298$  К. Сколько г глюкозы нужно израсходовать, чтобы поднять человека массой  $70$  кг по лестничному проему на  $3$  м. Принять, что в полезную работу можно обратить  $25\%$  энтальпии.

*Ответ:*  $0,529$  г глюкозы.

**8.** Рассчитайте массу углеводов, необходимую для восполнения энергии, затраченной при выделении  $800$  г воды через кожу, если для испарения  $1$  моль воды через кожу требуется  $40,7$  кДж.

*Ответ:*  $m = 106,4$  г.

**9.** Определите знак и значение энтальпии растворения соли  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , если при растворении  $6,4$  г этой соли в  $2$  л воды при с.у. поглотилось  $6,22$  кДж теплоты.

*Ответ:*  $\Delta H_{\text{р-ния}}^{\circ} = +77,75$  кДж/моль.

**10.** Стандартная энтальпия растворения  $\text{CuSO}_4$  равна  $-66,5$  кДж/моль, стандартная энтальпия гидратации до пентагидрата равна  $-78,22$  кДж/моль. Вычислите стандартную теплоту растворения пентагидрата.

*Ответ:*  $\Delta H_{\text{р-ния}}^{\circ} = 11,72$  кДж/моль.

**11.** Какое количество теплоты поглотится при растворении в воде  $23,8$  г бромида калия, если  $\Delta H_{\text{р-ния}}^{\circ} = 17$  кДж/моль?

*Ответ:*  $Q = 3,4$  кДж.

**12.** При растворении  $715$  г кристаллической соды было поглощено  $167,4$  кДж теплоты. Определите теплоту растворения кристаллогидрата.

*Ответ:*  $\Delta H_{\text{р-ния}}^{\circ}(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = 66,96$  кДж/моль.

**13.** При растворении  $1$  моль серной кислоты в  $800$  г воды температура раствора повысилась на  $22,4$  градуса. Рассчитайте тепловой эффект растворения серной кислоты в воде, принимая удельную теплоемкость раствора равной  $3,76$  Дж/(г · град).

*Ответ:*  $\Delta H_{\text{р-ния}}^{\circ} = -75,6$  кДж/моль.

**14.** Глицерин – один из продуктов метаболизма, который превращается окончательно в организме в  $\text{CO}_2(\text{г})$  и  $\text{H}_2\text{O}(\text{ж})$ . Вычислите  $\Delta G^\circ_{\text{р-ции}}$  окисления глицерина, если  $\Delta G^\circ_{\text{обр. (глицерина)}} = 480$  кДж/моль.

*Ответ:*  $\Delta G^\circ_{\text{р-ции}} = -1650$  кДж/моль.

**15.** В организме человека этанол окисляется в две стадии: до уксусного альдегида ( $\Delta H_1^\circ = -256$  кДж/моль), а затем до уксусной кислоты ( $\Delta H_2^\circ = -237$  кДж/моль):



На основании закона Гесса рассчитайте  $\Delta H^\circ_{\text{р-ции}}$  окисления этанола до уксусной кислоты.

*Ответ:*  $\Delta H^\circ_{\text{р-ции}} = -493$  кДж/моль.

**16.** Рассчитайте стандартную энергию Гиббса реакции фотосинтеза.

*Ответ:* 2871 кДж/моль.

**17.** Установите возможное направление реакции:

$\text{A} + 6\text{B} \rightleftharpoons \text{C} + 6\text{D}$  при  $30^\circ\text{C}$ , если известно, что при данной температуре  $\Delta H^\circ_{\text{р-ции}}$  равно 79,5 кДж/моль, а  $\Delta S^\circ_{\text{р-ции}}$  составляет 92 Дж/моль · К.

*Ответ:*  $\Delta G^\circ_{\text{р-ции}} = 107,4$  кДж/моль, возможно протекание прямой реакции.

**18.** Вычислите  $\Delta G^\circ_{\text{р-ции}}$  гидратации  $\beta$ -лактоглобулина при  $25^\circ\text{C}$ ;  $\Delta H^\circ_{\text{р-ции}} = -6,75$  кДж/моль;  $\Delta S^\circ_{\text{р-ции}} = -9,74$  Дж/(моль · К). Оцените вклад энтальпийного и энтропийного факторов.

*Ответ:*  $\Delta G^\circ_{\text{р-ции}} = -3,85$  кДж/моль.

**19.** Обычный кубик сахара имеет массу 1,5 г. Какова энтальпия его сгорания? На какую высоту можно подняться человеку массой 75 кг, если считать, что на работу тратится 25% полученной энергии?

*Ответ:*  $Q = +24,97$  кДж,  $h = 8,5$  м.

**20.** Ферментативная реакция дегидрирования пропанола-2 протекает по уравнению:



Определите тепловой эффект этой реакции по теплотам сгорания:

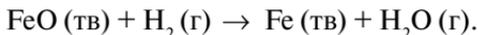
$$\Delta H^\circ_{\text{сгор}}(\text{CH}_3\text{CHONCH}_3) = -2002 \text{ кДж/моль};$$

$$\Delta H^\circ_{\text{сгор}}(\text{CH}_3\text{COCH}_3) = -1789 \text{ кДж/моль};$$

$$\Delta H^\circ_{\text{сгор}}(\text{H}_2) = -285 \text{ кДж/моль}.$$

*Ответ:*  $\Delta H^\circ_{\text{сгор}} = +72 \text{ кДж/моль}.$

**21.** Определите тепловой эффект реакции при с.у.:



*Ответ:*  $\Delta H^\circ_{\text{р-ции}} = 23 \text{ кДж/моль}, \Delta H^\circ_{\text{р-ции}} > 0$  (энергия поглощается).

**22.** Предположим, что платье, в котором вы вымокли, впитало 1 кг воды и холодный ветер его высушил. Какое количество потерянной теплоты необходимо возместить организму? Сколько г глюкозы нужно потребить, чтобы восполнить эту потерю? Принять мольную энтальпию парообразования воды равной 44 кДж/моль.

*Ответ:*  $m(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 157 \text{ г}, Q = 2,4 \cdot 10^3 \text{ кДж}.$

**23.** Рассчитайте  $\Delta S^\circ_{\text{р-ции}}$  хлорирования метана до трихлорметана.

*Ответ:*  $\Delta S^\circ_{\text{р-ции}} = 2 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}.$

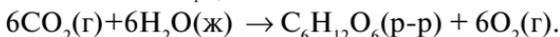
**24.** Вычислите стандартную энтропию образования дипептида глицил-глицина. Благоприятствует ли энтропийный фактор протеканию этой реакции?

*Ответ:*  $-17 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$ , не благоприятствует, так как уменьшается.

**25.** Рассчитайте, как изменяется энтропия при спиртовом брожении глюкозы (с.у.).

*Ответ:*  $\Delta S^\circ_{\text{р-ции}} = 537,9 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$ , возрастает.

**26.** Рассчитайте  $\Delta G^{\circ}_{\text{р-ции}}$  фотосинтеза:



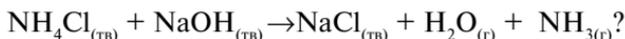
Оцените полученный результат.

*Ответ:*  $\Delta G^{\circ}_{\text{р-ции}} = +2869$  кДж/моль, т.е. реакция эндэргоническая.

**27.** Возможна ли при с.у. биохимическая реакция гликолиза:  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_{6(\text{aq})} \rightarrow 2\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_{3(\text{aq})}$ ?

*Ответ:* возможна, т.к.  $\Delta G^{\circ}_{\text{р-ции}} = -161$  кДж/моль.

**28.** Можно ли получить аммиак при с. у. по реакции:



Как изменится вероятность протекания этой реакции при повышении температуры и почему?

*Ответ:* нельзя, т.к.  $\Delta G^{\circ}_{\text{р-ции}} = 45,6$  кДж/моль, т.е. реакция эндэргоническая. Вероятность повышается, т.к.  $\Delta S^{\circ}_{\text{р-ции}}$  будет увеличиваться.

**29.** Определите возможность протекания реакции



$$\Delta G^{\circ}_{\text{обр}}(\text{NH}_4^+) = -79,42 \text{ кДж/моль};$$

$$\Delta G^{\circ}_{\text{обр}}(\text{фумарат}^{2-}) = -603,6 \text{ кДж/моль};$$

$$\Delta G^{\circ}_{\text{обр}}(\text{L-аспартат}^{+ -}) = -698,06 \text{ кДж/моль}.$$

*Ответ:*  $\Delta G^{\circ}_{\text{р-ции}} = +15,04$  кДж/моль, реакция протекает справа налево при с.у.

**30.** Для реакции  $\text{CO}_{2(\text{г})} + \text{C}_{(\text{тв})} \rightleftharpoons 2\text{CO}_{(\text{г})}$ :

а) рассчитайте  $\Delta G^{\circ}_{\text{р-ции}}$  при 298 К;

б) вычислите температуру, при которой оба направления процесса равновероятны, если  $\Delta H^{\circ}_{\text{р-ции}} = +173$  кДж/моль;  $\Delta S^{\circ}_{\text{р-ции}} = +176$  Дж/(моль · К).

*Ответ:*  $\Delta G^{\circ}_{\text{р-ции}} = 121$  кДж/моль;  $T = 983$  К.

**31.** Как изменится скорость прямой реакции  $2\text{NO}(\text{г}) + \text{O}_2(\text{г}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(\text{г})$  при увеличении давления в 2 раза?

*Ответ:* увеличится в 8 раз.

**32.** Химическая реакция при  $10^\circ\text{C}$  заканчивается за 16 мин. При какой температуре она закончится за 1 мин, если температурный коэффициент  $\gamma = 2$ .

*Ответ:*  $t^\circ = 50^\circ\text{C}$ .

**33.** Причиной образования опасного для здоровья тумана – «смога» – считают большое количество выхлопных газов автомобилей при высокой влажности воздуха. В смоге присутствует ядовитый диоксид азота, который образуется при взаимодействии монооксида азота с атомарным кислородом. Рассчитайте скорость этой реакции, если через 5 минут после ее начала концентрация диоксида азота стала равна  $0,05$  моль/л, а через 20 минут –  $0,08$  моль/л.

*Ответ:*  $3,3 \cdot 10^{-5}$  моль/(л · с).

**34.** Во сколько раз уменьшается скорость окисления глюкозы при гипотермии, если температура тела падает с  $36,6^\circ\text{C}$  до  $27^\circ\text{C}$ , а температурный коэффициент данной реакции равен  $1,3$ ?

*Ответ:* в 1,24 раза.

**35.** Константа скорости гидролиза этилового эфира фенилаланина при  $\text{pH} = 7,3$ ,  $t = 25^\circ\text{C}$  в присутствии ионов меди равна  $2,67 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ . Начальная концентрация эфира равна  $0,2$  моль/л. Чему будет равна скорость реакции по истечении двух периодов полупревращения?

*Ответ:*  $\nu = 13,35 \cdot 10^{-5}$  моль/(л · с).

**36.** Для проведения исследований были взяты равные массы двух радионуклидов: цезия-137 и циркония-95. Какая часть радионуклида Cs-137 останется к тому моменту, когда 99% радионуклида Zr-95 распадется?

*Ответ:* останется 97,4%.

**37.** Авария на Чернобыльской АЭС произошла в 1986 году. Какая часть радионуклида Cs-137, попавшего в организм пострадавших, осталась в нем до настоящего времени (2013 год)?

*Ответ:* 44%.

**38.** Рассчитайте время разложения 10% спазмолитина в растворе при  $\text{pH} = 4,9$ ,  $T = 293\text{K}$ , если энергия активации процесса разложения равна  $75,7\text{ кДж/моль}$ , а период полупревращения при  $353\text{ K}$  равен  $90\text{ мин}$ . Реакция разложения 1-го порядка.

*Ответ:* при данных условиях разложение спазмолитина происходит за  $45\text{ ч}$ .

**39.** При авариях на АЭС появляется изотоп  $^{131}\text{I}$ , период полураспада которого составляет  $8\text{ суток}$ . Сколько потребуется времени, чтобы активность радионуклида составила  $25\%$  от начальной?

*Ответ:*  $16\text{ суток}$ .

**40.** Энергия активации реакции кислотного гидролиза сахарозы при  $37^\circ\text{C}$  равна  $102\text{ кДж/моль}$ , а в присутствии фермента энергия активации снижается до  $35\text{ кДж/моль}$ . Во сколько раз быстрее протекает реакция гидролиза сахарозы в присутствии фермента?

*Ответ:* в присутствии фермента скорость реакции гидролиза сахарозы возросла в  $1,97 \cdot 10^{11}$  раз.

**41.** Энергия активации реакции разложения спазмолитина в растворе равна  $75\text{ кДж/моль}$ . Рассчитайте температурный коэффициент константы скорости в интервале от  $20$  до  $80^\circ\text{C}$ .

*Ответ:*  $\gamma = 2,4$ .

**42.** Вычислите энергию активации реакции спиртового брожения глюкозы в растворе в интервале температур:  $30\text{--}70^\circ\text{C}$ , при  $\gamma = 2,0$ .

*Ответ:*  $57,3\text{ кДж}$ .

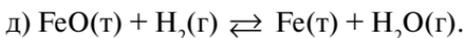
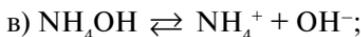
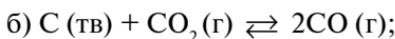
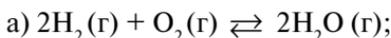
**43.** Оцените, во сколько раз возрастет скорость реакции разложения угольной кислоты при 310 К при использовании катализатора (без катализатора  $E_a = 86$  кДж/моль; в присутствии карбоангидразы  $E_a = 49$  кДж/моль).

*Ответ:* в  $1,73 \cdot 10^6$  раз.

**44.** Во сколько раз возрастет скорость реакции при повышении температуры от 25 до 85 °С, если энергия активации равна 100 кДж/моль? Рассчитайте температурный коэффициент этой реакции.

*Ответ:* в 867 раз;  $\gamma = 3,09$ .

**45.** Напишите выражения констант равновесия для следующих обратимых гомогенных и гетерогенных процессов:



**46.** Рассчитайте величину константы равновесия для обратимой реакции  $2\text{NO} + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{NO}_2$ , если при состоянии равновесия  $[\text{NO}] = 0,056$  моль/л,  $[\text{O}_2] = 0,02$  моль/л;  $[\text{NO}_2] = 0,044$  моль/л.

*Ответ:*  $K_{\text{равн.}} = 30,87$ .

**47.** В сосуде объемом 1 л смешали некоторое количество СО и  $\text{Cl}_2$ . После того как система достигла равновесного состояния, в сосуде было обнаружено 0,5 моль  $\text{COCl}_2$ , 0,02 моль СО и 0,01 моль  $\text{Cl}_2$ . Вычислите константу равновесия системы  $\text{CO}(\text{г}) + \text{Cl}_2(\text{г}) \rightleftharpoons \text{COCl}_2(\text{г})$  при той же температуре.

*Ответ:*  $2,5 \cdot 10^3$ .

**48.** Константа равновесия системы  $2\text{N}_2(\text{г}) + \text{O}_2(\text{г}) \rightleftharpoons 2\text{N}_2\text{O}(\text{г})$  равна 12,1. Равновесные концентрации  $\text{N}_2$  и  $\text{N}_2\text{O}$  составляют, соответственно, 0,2 и 0,84 моль/л. Найдите начальную и равновесную концентрации  $\text{O}_2$ .

*Ответ:*  $C_0(\text{O}_2) = 1,88$  моль/л;  $[\text{O}_2] = 1,46$  моль/л.

**49.** Вычислите константу равновесия и исходные концентрации йода и водорода в системе  $\text{H}_2 + \text{I}_2 \rightleftharpoons 2\text{HI}$ , если в состоянии равновесия концентрации веществ равны:

$[\text{I}_2] = 0,025$  моль/л;  $[\text{H}_2] = 0,004$  моль/л;  $[\text{HI}] = 0,35$  моль/л.

*Ответ:*  $K_{\text{равн.}} = 5916$ ,  $c(\text{I}_2) = 0,2$  моль/л;  $c(\text{H}_2) = 0,179$  моль/л.

**50.** При 300 К константа равновесия реакции: L-глутаминовая кислота + пируват  $\rightleftharpoons$   $\alpha$ -кетоглутаровая кислота + L-аланин, равна 1,11. В каком направлении будет идти реакция при следующих концентрациях: L-глутаминовая кислота и пируват — по 0,00003 моль/л,  $\alpha$ -кетоглутаровая кислота и L-аланин — по 0,005 моль/л?

*Ответ:*  $\Delta G_{\text{р-ции}} > 0$ , реакция идет в обратном направлении.

**51.** Для реакции:  $\text{H}_3\text{PO}_4 + \text{аденозин} \rightleftharpoons \text{АМФ} + \text{H}_2\text{O}$ ,  $\Delta G^\circ = 14$  кДж/моль. В каком направлении реакция идет самопроизвольно при стандартных условиях? Каково значение константы равновесия?

*Ответ:*  $K_{\text{равн.}} = 3,48 \cdot 10^{-3}$ , реакция самопроизвольно идет в обратном направлении.

**52.** Сделайте заключение о практической обратимости реакции при 298 К, рассчитав константу равновесия для реакции  $\text{АТФ} + \text{АМФ} \rightleftharpoons 2\text{АДФ}$ , если  $\Delta G^\circ = -2,10$  кДж/моль.

*Ответ:*  $K_{\text{равн.}} = 2,26 > 1$ , равновесие незначительно сдвинуто вправо, реакция практически обратима.

**53.** В печени протекает ферментативный обратимый процесс: глюкозо-1-фосфат  $\rightleftharpoons$  глюкозо-6-фосфат. При 37 °С равновесная концентрация глюкозо-1-фосфата равна 0,001 моль/л, а глюкозо-6-фосфата – 0,019 моль/л. Рассчитайте  $K_{\text{равн.}}$ .

*Ответ:*  $K_{\text{равн.}} = 19$ .

**54.** Вычислите изменение энергии Гиббса ( $\Delta G$ ) реакции гидролиза АТФ до АДФ и неорганического фосфата:  $\text{АТФ} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \rightleftharpoons \text{АДФ} + \text{P}_i$  в условиях, характерных для мышечной клетки, находящейся в состоянии покоя:  $c(\text{АТФ}) = 0,005$  моль/л;  $c(\text{АДФ}) = 0,0005$  моль/л;  $c(\text{P}_i) = 0,005$  моль/л;  $\text{pH} = 6,0$ ,  $t = 25^\circ\text{C}$ . Константа равновесия гидролиза при указанной температуре равна  $8,92 \cdot 10^4$ .

*Ответ:*  $\Delta G = -46,09$  кДж/моль.

**55.** Взаимодействует ли алюминий с водой? Нет ли опасности, что изделия из алюминия, широко применяемые в быту и медицинской технике, будут разрушаться под действием воды в результате протекания реакции:  $2\text{Al}_{(\text{т})} + 6\text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})} \rightarrow 3\text{H}_{2(\text{т})} + 2\text{Al}(\text{OH})_{3(\text{т})}$ ? Надо ли слишком тщательно чистить алюминиевые изделия?

*Ответ:*  $\Delta G < 0$ , однако защитный слой  $\text{Al}_2\text{O}_3$  предохраняет алюминий от разрушения.

**56.** Сравните стандартные энергии Гиббса полного аэробного окисления глюкозы:  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_{6(\text{aq})} + 6\text{O}_{2(\text{т})} \rightarrow 6\text{CO}_{2(\text{т})} + 6\text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}$  (1) и неполного анаэробного окисления глюкозы до молочной кислоты:  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_{6(\text{aq})} \rightarrow 2\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COOH}_{(\text{aq})}$  (2).

Какой процесс является более эффективным с точки зрения использования глюкозы?

*Ответ:* реакция (1) более эффективна.

**57.**  $\text{НАД}^+$  и  $\text{НАДН}$  – окисленная и восстановленная формы кофермента никотинамидадениндинуклеотида.  $\Delta G^\circ_{\text{реакции}}$  окисления  $\text{НАДН}$ :  $\text{НАДН} + \text{H}^+ \rightarrow \text{НАД}^+ + \text{H}_2$  равно  $-21,83$  кДж/моль

при 298 К. Пользуясь уравнением изотермы, рассчитайте константу равновесия этой реакции и изменение свободной энергии, если  $[\text{НАДН}] = 1,5 \cdot 10^{-2}$  моль/л,  $[\text{H}^+] = 3 \cdot 10^{-5}$  моль/л,  $[\text{НАД}^+] = 4,6 \cdot 10^{-3}$  моль/л и  $p(\text{H}_2) = 0,01$  атм (вместо концентрации газа подставить в уравнение его давление).

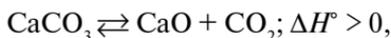
*Ответ:*  $K_{\text{равн.}} = 6736$ ;  $\Delta G = -10,36$  кДж/моль.

**58.** Уксусная кислота диссоциирует в водном растворе по уравнению:  $\text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{водн})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}^-_{(\text{водн})} + \text{H}_3\text{O}^+_{(\text{водн})}$ .

Рассчитайте константу равновесия этой реакции, если исходная концентрация уксусной кислоты равна 0,4 моль/л, а концентрация ацетат-ионов в состоянии равновесия равна  $2,6 \cdot 10^{-3}$  моль/л.

*Ответ:*  $K_c = 1,7 \cdot 10^{-5}$  моль/л.

**59.** В каком направлении сместится равновесие в обратимых системах:

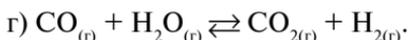
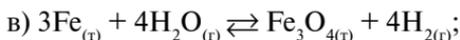
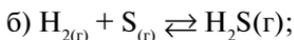
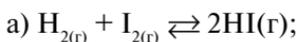


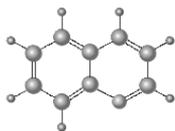
при: а) повышении температуры; б) повышении давления.

**60.** Как необходимо изменить температуру, давление и концентрацию веществ, чтобы увеличить выход хлора в реакции:



**61.** В каком направлении произойдет смещение равновесия в системах, при увеличении концентрации водорода:





## МОДУЛЬ

«УЧЕНИЕ О РАСТВОРАХ.  
ПРОТОЛИТИЧЕСКИЕ,  
ГЕТЕРОГЕННЫЕ,  
ЛИГАНДООБМЕННЫЕ  
ОКИСЛИТЕЛЬНО-  
ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ  
ПРОЦЕССЫ И РАВНОВЕСИЯ»

**Основные понятия, законы, параметры,  
используемые для характеристики растворов**

Параметр	Обозначение, единицы измерения	Смысловое значение
Коллигативные свойства растворов	—	Это свойства, не зависящие от природы частиц растворенного вещества, а определяемые только концентрацией частиц в растворе
Закон Вант-Гоффа	$\pi = cRT$	Осмотическое давление равно тому давлению, которое оказывало бы растворенное вещество, если бы оно, находясь в газообразном состоянии, занимало при той же температуре объем, равный объему раствора

Параметр	Обозначение, единицы измерения	Смысловое значение
Осмотическое давление (эмпирическое уравнение Вант-Гоффа)	$(P_{\text{осм}})$ , $\pi$ , кПа $\pi = c(X)RT$ (растворы неэлектролитов) $\pi = ic(X)RT$ (растворы электролитов), где $c(X)$ – молярная концентрация растворенного вещества; $R$ – газовая постоянная, 8,31 Дж/моль · К; $T$ – температура, К; $i$ – изотонический коэффициент	Избыточное гидростатическое давление, возникающее в результате осмоса и приводящее к выравниванию скоростей взаимного проникновения молекул растворителя через мембрану с избирательной проницаемостью
Изотонический коэффициент	$i$ $i = 1 + \alpha(n - 1)$ , где $n$ – число ионов, на которое распадается данный электролит, $\alpha$ – степень диссоциации	Отношение общего числа частиц (молекул и ионов) растворенного вещества в растворе после диссоциации к исходному числу молекул вещества, учитывает межмолекулярные взаимодействия в реальных растворах
Осмолярная концентрация	$c_{\text{осм}} = ic(X)$ , осмоль/л	Суммарное молярное количество всех кинетически активных частиц, содержащихся в 1 л раствора независимо от их формы, размера и природы
Онкотическое давление	$\pi_{\text{онк}}$ , кПа	Осмотическое давление, создаваемое за счет наличия белков в биологических жидкостях организма
Давление насыщенного пара	$p$ , кПа	Давление пара, при котором при данной температуре в системе «жидкость – пар» наступает динамическое равновесие $v_{\text{исп}} = v_{\text{конд}}$

Параметр	Обозначение, единицы измерения	Смысловое значение
<b>I закон Рауля</b> Относительное понижение давления насыщенного пара растворителя над идеальным раствором нелетучего вещества	$\frac{P_0 - P}{P_0} = \frac{n(X)}{n(X) + n_{\text{р-ля}}} = N(X)$	При постоянной температуре равномолярной доле растворенного вещества
Температура кипения жидкости	$T_{\text{кип}}$	Давление насыщенного пара над жидкостью становится равным внешнему давлению
Температура замерзания (кристаллизации) жидкости	$T_{\text{зам}}^{\circ}$ $T_{\text{кр}}$	Давление насыщенного пара над жидкостью становится равным давлению насыщенного пара над кристаллами этой жидкости
<b>II закон Рауля</b> Повышение температуры кипения или понижение температуры замерзания идеальных растворов нелетучих веществ	$\Delta T_{\text{кип}} = K_{\text{эб}} \cdot c_m(X)$ , $\Delta T_{\text{зам}} = K_{\text{кр}} \cdot c_m(X)$ , $\Delta T_{\text{кип}} = i K_{\text{эб}} \cdot c_m(X)$ , $\Delta T_{\text{зам}} = i K_{\text{кр}} \cdot c_m(X)$ , где $c_m(X)$ – молярная концентрация растворенного вещества ( $i$ вводится в формулу для растворов электролитов)	Прямо пропорционально молярной концентрации вещества в растворе

Параметр	Обозначение, единицы измерения	Смысловое значение
Эбуллиоскопическая и криоскопическая константы	$K_{эб}, K_{кр}$	Численно равны повышению температуры кипения или, соответственно, понижению температуры замерзания одномолярного идеального раствора (1 моль вещества в 1000 г растворителя) нелетучего вещества по сравнению с чистым растворителем
Константа диссоциации (ионизации)	$K_a = \frac{[H_3O^+] \cdot [A^-]}{[HA]} \quad (1)$ $K_b = \frac{[BH^+] \cdot [OH^-]}{[B]} \quad (2)$	Константа равновесия процесса диссоциации. Для кислоты HA, ионизация которой в воде дает $H_3O^+$ и $A^-$ , константа $K_a$ выражается уравнением (1). Для основания B, при ионизации которого образуются анион $OH^-$ и протонированное основание $BH^+$ , константа $K_b$ выражается уравнением (2)
Степень диссоциации электролитов	$\alpha = \frac{c_i}{c_0}$ <p>где <math>c_i</math> – концентрация молекул, распавшихся на ионы, <math>c_0</math> – общая концентрация растворенных молекул;</p> $\alpha = \frac{i-1}{n-1}$ <p>где <math>i</math> – изотонический коэффициент, <math>n</math> – число ионов, на которое распадается данный электролит</p>	Отношение числа продиссоциированных молекул к общему числу молекул электролита, введенных в раствор. Величина безразмерная. Степень диссоциации возрастает при разбавлении раствора, при повышении температуры раствора

Параметр	Обозначение, единицы измерения	Смысловое значение
Электрическая подвижность иона	$u, \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$ $u = \frac{v}{E}$	Средняя скорость направленного движения иона в растворе при напряженности электрического поля 1 В/м
Предельная подвижность иона	$u^\circ, \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$	Средняя скорость направленного движения иона в бесконечно разбавленном растворе при напряженности электрического поля 1 В/м
Электрическая проводимость	$\omega, \text{ См}$ $\omega = 1/R$	Физическая величина, обратная электрическому сопротивлению проводника
Удельная электрическая проводимость	$\kappa$ (каппа), См/м $\kappa = \frac{1}{\rho}$	Количество электричества, переносимое ионами, содержащимися в растворе, через поперечное сечение раствора площадью 1 м <sup>2</sup> , при напряженности однородного электрического поля 1 В/м за 1 с
Молярная электрическая проводимость	$\Lambda, \text{ См}\cdot\text{м}^2/\text{моль}$ $\Lambda_c = \kappa/c,$ если $c$ – моль/м <sup>3</sup> $\Lambda_c = \frac{\kappa}{c \cdot 1000},$ если $c$ – моль/л	Электрическая проводимость 1 моль электролита, находящегося в растворе между параллельными электродами с расстоянием между ними 1 м при напряженности электрического поля 1 В/м

Параметр	Обозначение, единицы измерения	Смысловое значение
Предельная молярная электрическая проводимость иона	$\lambda^\circ, \text{См} \cdot \text{м}^2/\text{моль}$ $\lambda^\circ = zFu^\circ$	Количество электричества, переносимое 1 моль ионов данного вида в бесконечно разбавленном растворе через поперечное сечение раствора площадью 1 м <sup>2</sup> при напряженности однородного электрического поля 1 В/м за 1 с
Закон Кольрауша  Позволяет рассчитывать:	$\text{Kt}_n \text{An}_m \rightleftharpoons n\text{Kt}^{m+} + m\text{An}^{n-},$ $\Lambda^\circ(\text{Kt}_n \text{An}_m) = n\lambda^\circ(\text{Kt}^{m+}) + m\lambda^\circ(\text{An}^{n-}),$ <p>где <math>\lambda^\circ(\text{Kt}^{m+})</math> – предельная молярная проводимость катиона;  <math>\lambda^\circ(\text{An}^{n-})</math> – предельная молярная проводимость аниона.</p> $\Lambda^\circ = F(u_{an}^\circ + u_{kt}^\circ)$ $\alpha = \frac{\Lambda_n}{\Lambda^\circ} \quad f_{\text{эл}} = \frac{\Lambda}{\Lambda^\circ}$ $K_a = \frac{\Lambda_c^2 \cdot c}{\Lambda^\circ (\Lambda^\circ - \Lambda_c)}$ $S = c(\text{малораст. в-ва}) = \frac{\kappa}{\Lambda^\circ \cdot 1000}$	При бесконечном разведении межионные взаимодействия в растворе практически отсутствуют, поэтому ионы переносят электричество независимо друг от друга пропорционально их заряду, подвижности и концентрации
Предельная молярная электрическая проводимость	$\Lambda^\circ, \text{См} \cdot \text{м}^2/\text{моль}$ $\Lambda^\circ = \lambda_{+}^\circ + \lambda_{-}^\circ$	Молярная электрическая проводимость бесконечно разбавленного раствора ( $c \rightarrow 0$ )

Параметр	Обозначение, единицы измерения	Смысловое значение
Кондуктометрия. Различают <i>прямую кондуктометрию</i> и <i>кондуктометрическое титрование</i> (косвенная кондуктометрия)	—	Физико-химический метод анализа, основанный на измерении электрической проводимости жидких сред
Диффузионный потенциал Уравнение Гендерсона	$\varphi_{\text{д}} = \frac{u_+^0 - u_-^0}{u_+^0 + u_-^0} \cdot \frac{2,3RT}{nF} \times$ $\times \lg \frac{a_1(X)}{a_2(X)}$	Возникает на границе раздела двух растворов, содержащих один электролит различной концентрации, или двух растворов различных электролитов вследствие различия в подвижности их катионов и анионов
Мембранный потенциал Уравнение Нернста  Частный случай — протонный потенциал	$\varphi_{\text{м}} = \frac{RT}{nF} \ln \frac{a_{\text{внеш}}(X)}{a_{\text{внутр}}(X)}$ $\varphi_{\text{м}} = \frac{2,3RT}{F} \lg \frac{a_{\text{нар}}(\text{H}^+)}{a_{\text{вн}}(\text{H}^+)} =$ $= 2 \cdot 10^{-4} T (\text{pH}_{\text{вн}} - \text{pH}_{\text{нар}})$	Возникает между сторонами избирательно проницаемой мембраны, разделяющей два раствора различного состава, в результате направленного перехода ионов через эту мембрану
Потенциал покоя	$\varphi_{\text{пок}}$ (от $-70$ до $-90$ мВ)	Мембранный потенциал, возникающий между внутренней и наружной сторонами клеточной мембраны, находящейся в невозбужденном состоянии

Параметр	Обозначение, единицы измерения	Смысловое значение
Потенциал действия	$\varphi_m$	Амплитуда колебания (деполяризация и реполяризация) мембранного потенциала, возникающая при возбуждении клетки
Закон разведения Оствальда	$K_d = \frac{c\alpha^2}{1-\alpha}; \alpha \approx \sqrt{\frac{K}{c}}$	С уменьшением концентрации вещества в растворе степень диссоциации слабого электролита увеличивается
Активность иона	$a(X_i)$ $a(X_i) = \gamma(X_i) \cdot c_i(X_i)$ , моль/л	Эффективная концентрация иона ( $X_i$ ), соответственно которой он участвует во взаимодействиях, протекающих в растворах сильных электролитов
Коэффициент активности иона	$\gamma(X_i)$ $\lg \gamma_i = -0,509 z_i^2 \sqrt{I}$ (при 25 °С для водных растворов)	Показывает, во сколько раз активность иона отличается от его истинной концентрации в растворе сильного электролита
Ионная сила раствора	$I = 1/2 \sum_{i=1}^n (z_i^2 c_i)$ , моль/л	Характеризует интенсивность электростатического поля всех ионов в растворе
Ионное произведение воды	$K_w = [H^+] \cdot [OH^-] = \text{const}$ $[H^+] \cdot [OH^-] = 1 \cdot 10^{-14}$ при $T = 298 \text{ K}$	Величина постоянная при данной температуре для воды и любых водных растворов, равная произведению концентраций ионов водорода и гидроксид-ионов

Параметр	Обозначение, единицы измерения	Смысловое значение
Водородный показатель, рН	$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+]$ $\text{pH} = -\lg a(\text{H}^+)$ $\text{pH} = -\lg(\gamma \cdot c(\text{H}^+))$	Количественная характеристика кислотности среды, равная отрицательному десятичному логарифму активной концентрации свободных ионов водорода в растворе
Гидроксильный показатель рОН	$\text{pOH} = -\lg[\text{OH}^-]$ $\text{pOH} + \text{pH} = 14$ (при 25 °С)	Количественная характеристика щелочности среды, равная отрицательному десятичному логарифму концентрации свободных ионов $\text{OH}^-$ в растворе
Активная кислотность	рН	Концентрация свободных ионов водорода, имеющих в растворе при данных условиях. Мерой активной кислотности является значение рН раствора
Активная кислотность в растворах сильной кислоты	$[\text{H}^+]_{\text{акт}} = \gamma_{\text{H}^+} \cdot c(1/z \text{ сильной кислоты}),$ где $\gamma_{\text{H}^+}$ – коэффициент активности катиона водорода	Зависит от концентрации кислоты и меж-ионного взаимодействия
Активная кислотность в растворах слабых кислот	$[\text{H}^+]_{\text{акт}} = \sqrt{K_a \cdot c(1/z_{\text{слаб. к-ты}})}$ $\text{pH} = 1/2 \text{p}K - 1/2 \lg c(1/z_{\text{слаб. к-ты}})$ $\text{pH} = \frac{1}{2} \text{p}K_a - \frac{1}{2} \lg c(\text{НА})$	Слабые кислоты присутствуют в растворах в ионизированной и молекулярной формах. Активная кислотность зависит от природы и концентрации слабого электролита

Параметр	Обозначение, единицы измерения	Смысловое значение
Активная кислотность в растворах слабых оснований	$pOH = \frac{1}{2} pK_b - \frac{1}{2} \lg c(\text{осн.})$ $pH = 14 - \frac{1}{2} pK_b + \frac{1}{2} \lg c(\text{осн.})$	Слабые основания диссоциируют, в растворе находятся как в ионной форме, так и в молекулярной
Потенциальная (резервная) кислотность	$[H^+]_{\text{пот}} = \sum_{i=1}^n c_i (1/z_{\text{слаб.к-ты}})$	Равна суммарной молярной концентрации эквивалентов слабых кислот
Общая кислотность	$[H^+]_{\text{общ}} = [H^+]_{\text{акт}} + [H^+]_{\text{пот}}$	Равна сумме молярных концентраций эквивалентов сильных и слабых кислот, содержащихся в растворе. Это общая аналитическая концентрация кислоты, которая устанавливается титрованием
Константа гидролиза	Гидролиз по аниону: $K_r = \frac{[HA] \cdot [OH^-]}{[A^-]} = \frac{K_w}{K_a(HA)}$ Гидролиз по катиону: $K_r = \frac{K_w}{K_b(B)}$	Характеризует состояние равновесия при гидролизе солей
Степень гидролиза	$h = \frac{c[OH^-]}{c_{\text{соли}}}$ $h = \frac{c[H^+]}{c_{\text{соли}}}$ $h = \sqrt{\frac{K_r}{c_{\text{соли}}}}$	Отношение числа частиц, подвергшихся гидролизу, к их числу до начала гидролиза

Параметр	Обозначение, единицы измерения	Смысловое значение
pH раствора соли, гидролизующейся по катиону	$pH = 7 - 1/2pK_b - 1/2lgc_{\text{соли}}$	При гидролизе по катиону в растворе возрастает концентрация ионов водорода и pH водного раствора таких солей всегда $< 7$
pH раствора соли, гидролизующейся по аниону	$pH = 7 + 1/2pK_a + 1/2lgc_{\text{соли}}$	При гидролизе по аниону в растворе возрастает концентрация ионов $OH^-$ и pH водного раствора таких солей всегда $> 7$
pH в растворах кислотных солей	$pH = 1/2pK_{1HA} + 1/2pK_{2HA}$ $pH = 1/2pK_{2HA} + 1/2pK_{3HA}$	Для расчета pK гидролизующихся солей многоосновных кислот учитываются константы диссоциации по степеням
pH кислотной буферной системы	$pH = pK_a + \lg \frac{[акц. H^+]}{[донор H^+]}$ $= pK_a + \lg \frac{[соль]}{[кислота]}$	Кислотный буферный раствор содержит слабую кислоту (донор протона) и соль этой кислоты (акцептор протона)
pH основной буферной системы	$pH = 14 - pK_b - \lg \frac{[соль]}{[основание]}$ $pH = 14 - pK_a + \lg \frac{[основ-е]}{[сопряж. к-та]}$	Основной буферный раствор содержит слабое основание (акцептор протона) и соль этого основания (донор протона)
Буферная емкость по кислоте	$B_a = \frac{c(1/z_{к-ты}) \cdot V_{к-ты}}{ \Delta pH  \cdot V_{буф. р-ра}}$	Число моль-эквивалентов сильной кислоты, которое нужно добавить к 1 литру буферного раствора, чтобы изменить величину pH на единицу

Параметр	Обозначение, единицы измерения	Смысловое значение
Буферная емкость по основанию	$B_a = \frac{c(1/z_{\text{шел}}) \cdot V_{\text{шел}}}{ \Delta \text{pH}  \cdot V_{\text{буф. р-ра}}}$	Число моль-эквивалентов щелочи, которое нужно добавить к 1 литру буферного раствора, чтобы изменить величину pH на единицу
Насыщенный раствор	$\bar{v}_{\text{раствор}} = \bar{v}_{\text{кристалл}}$	Термодинамически устойчивая равновесная система, характеризующаяся равенством скоростей растворения и кристаллизации
Ненасыщенный раствор	$\bar{v}_{\text{раствор}} > \bar{v}_{\text{кристалл}}$	Термодинамически устойчивая неравновесная система, в которой концентрация вещества меньше, чем в насыщенном растворе
Пересыщенный раствор	$\bar{v}_{\text{раствор}} < \bar{v}_{\text{кристалл}}$	Термодинамически неустойчивая псевдоравновесная система, в которой концентрация вещества больше, чем в насыщенном растворе
Константа растворимости (произведение растворимости, ПР)	$\begin{array}{c} \text{Kt}_m \text{An}_m (\text{тв}) \\ \xrightleftharpoons[\text{кристаллизация}]{\text{растворение}} \\ n\text{Kt}^{m+}(\text{p-p}) + m\text{An}^{n-}(\text{p-p}) \\ K_{\text{равни}} = \frac{[\text{Kt}^{m+}]^n [\text{An}^{n-}]^m}{[\text{Kt}_m \text{An}_m]} \\ \text{т.к. } [\text{Kt}_m \text{An}_m] = \text{const}, \\ \text{то } K_{\text{равни}} \cdot [\text{Kt}_m \text{An}_m] = \text{const} = \\ = K_s \\ K_s = [\text{Kt}^{m+}]^n \cdot [\text{An}^{n-}]^m \\ \Delta G = -RT \ln K_s \end{array}$	Произведение концентраций ионов малорастворимого электролита в его насыщенном растворе при данных условиях

Параметр	Обозначение, единицы измерения	Смысловое значение
Растворимость малорастворимого электролита	$s = c =$ $= n^m \sqrt[n^m]{K_s (K_t \cdot A_n^m / (n^n \cdot m^m))}$	Молярность насыщенного раствора малорастворимого электролита при данных условиях
Условие образования осадка	$c^n(K_t^{m+}) \cdot c^m(A_n^{n-}) > K_s$ $P_c > K_s$	Произведение концентраций ионов малорастворимого электролита ( $P_c$ ) в растворе станет больше константы растворимости
Условие растворения осадка	$c^n(K_t^{m+}) \cdot c^m(A_n^{n-}) < K_s$ $P_c < K_s$	Произведение концентраций ионов малорастворимого электролита ( $P_c$ ) в растворе станет меньше константы растворимости
Константа нестойкости комплексных ионов	$K_n$	Константа равновесия, описывающая диссоциацию комплексного иона, используется для количественной характеристики устойчивости внутренней сферы комплексного соединения
Координационное число	К.ч.	Число свободных атомных орбиталей, предоставляемых комплексообразователем, т.е. число связей комплексообразователя и лиганда
Дентатность лиганда	—	Число электронных пар, предоставляемых лигандом, для образования донорно-акцепторной связи с комплексообразователем

Параметр	Обозначение, единицы измерения	Смысловое значение
Восстановительный (редокс) потенциал Уравнение Нернста-Петерса	$(\varphi_r) \varphi(Ox/Red), В$ $\varphi(Ox/Red) = \varphi^\circ(Ox/Red) + \frac{2,3RT}{nF} \cdot \lg \frac{a(Ox)}{a(Red)}$	Количественная мера ОВ-способности данной сопряженной ОВ-пары; зависит от природы окисл. и восст. формы данной сопряженной пары, соотношения концентраций окисл. и восст. формы данной сопряженной пары, температуры
Окислительно-восстановительный электрод	$Pt/Ox, Red$	Система, состоящая из инертного металла и раствора, содержащего сопряженную окислительно-восстановительную пару
Стандартный восстановительный (редокс) потенциал	$(\varphi_r^\circ) \varphi^\circ(Ox/Red), В$	Потенциал окислительно-восстановительного электрода, возникающий на платине при стандартных условиях: $T = 298 К$ , $p = 101325 Па$ , активностях окисленной и восстановленной форм в растворе, равных 1 моль/л
Нормальный (формальный) восстановительный (редокс) потенциал	$\varphi^{\circ'}, В$ $\varphi^{\circ'} = \varphi^\circ - 0,059рН$	Применяется для характеристики окислительно-восстановительных свойств природных сопряженных ОВ-пар, измеряется при 1 М концентрации компонентов и при $рН = 7,0$ , $T = 298 К$

Параметр	Обозначение, единицы измерения	Смысловое значение
ЭДС ОВР при с.у.	$E^{\circ}$ $E^{\circ} = \varphi_r^{\circ} (\text{ок.}) - \varphi_r^{\circ} (\text{восст.})$	Численно равна разности стандартных потенциалов сопряженных ОВ-пар, участвующих в реакции
Условие самопроизвольного протекания ОВР	$E^{\circ} > 0$ $E^{\circ} = \frac{2,3RT \lg K}{nF}$ , где $K$ – константа равновесия, $n$ – число электронов, принимающих участие в элементарном процессе	Положительное значение ЭДС ОВР
Стандартный водородный потенциал	$\varphi^{\circ}(2\text{H}^+/\text{H}_2) = 0$	Потенциал стандартного водородного электрода, в котором давление газообразного водорода поддерживается 101,3 кПа (1 атм), активность ионов водорода в растворе равна 1 моль/л, $T = 298 \text{ K}$
Двойной электрический слой	ДЭС	Упорядоченное распределение противоположно заряженных частиц на межфазной границе.
Электрод (полуэлемент)	$M/M^{n+}$	Система, состоящая из двух контактирующих разнородных проводников – электронного (металл) и ионного (раствор электролита), на межфазной границе между которыми возникает ДЭС, характеризующийся определенным значением потенциала $\varphi$

Параметр	Обозначение, единицы измерения	Смысловое значение
Электродный потенциал Уравнение Нернста	$\varphi, \text{ В}$ $\varphi(M^{n+}/M) =$ $= \varphi^\circ(M^{n+}/M) +$ $+ \frac{RT}{nF} \ln a(M^{n+})$	Возникает на границе металл–раствор в результате протекания окислительно-восстановительных реакций на межфазной границе, сопровождаемых переходом катионов металла через нее. Равен ЭДС гальванической цепи, состоящей из стандартного водородного электрода и электрода, потенциал которого подлежит определению
Потенциалопределяющие ионы	$\text{Kat}^{n+}, \text{An}^{n-}$	Ионы, переход которых через межфазную границу приводит к возникновению на ней двойного электрического слоя
Стандартный электродный потенциал	$\varphi^\circ(M_z+/M), \text{ В}$	Равен ЭДС гальванической цепи, состоящей из стандартного водородного электрода и электрода, потенциал которого подлежит определению, при активности потенциалопределяющих ионов в растворе 1 моль/л, давлении газов 1 атм и температуре 298 К
Гальванический элемент	(–)Анод/Анодный раствор    Катодный раствор/Катод (+)	Это устройство, в котором химическая энергия ОВР превращается в электрическую энергию за счет пространственного разделения процессов окисления и восстановления. В гальваническом элементе различают <i>анод</i> и <i>катод</i>

Параметр	Обозначение, единицы измерения	Смысловое значение
Потенциометрия	$\text{ЭДС} = f(a(X_i))$ $E = \varphi(x/c) - \varphi(\text{стекл}) =$ $= \text{const} + 2 \cdot 10^{-4} T \text{ рН}$	Физико-химический метод анализа, позволяющий определять активности (концентрации) ионов на основании измерения ЭДС гальванической цепи, состоящей из электрода сравнения и электрода определения, опущенных в исследуемый раствор
Электрод определения (стеклянный электрод)	Потенциал стеклянного электрода с водородной функцией: $\varphi(\text{ст}) = \varphi^{\circ}(\text{ст}) +$ $+ \frac{2,3RT}{F} \lg a(\text{H}^+) =$ $= \varphi^{\circ}(\text{ст}) - \frac{2,3RT}{F} \text{ рН}$	Электрод, потенциал которого зависит от активности (концентрации) анализируемых ионов и практически не зависит от содержания других ионов в растворе
Электрод сравнения (хлорсеребряный)	$\varphi_{\text{xc}} =$ $= \varphi_{\text{xc}}^{\circ} - 2 \cdot 10^{-4} \cdot T \cdot \lg a(\text{Cl}^-)$	Электрод, потенциал которого практически постоянен, легко воспроизводим и не зависит от протекания побочных реакций

### Обучающие задачи с решениями

**1.** Вычислите давление насыщенного пара над раствором, содержащим 6,4 г нафталина ( $\text{C}_{10}\text{H}_8$ ) в 90 г бензола ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ) при 20 °С. Давление насыщенного пара над бензолом при данной температуре 9953,82 Па.

#### Решение.

По I закону Рауля относительное понижение давления насыщенного пара над раствором равно молярной доле растворенного вещества:

$$\frac{P_o - P}{P_o} = N(X),$$

где  $P_o$  – давление насыщенного пара над растворителем;

$P$  – давление насыщенного пара над раствором;

$N(X)$  – молярная доля вещества (X), которая определяется по формулам:

$$N(X) = \frac{n(X)}{n(X) + n_{\text{р-ля}}}; \quad N(\text{C}_{10}\text{H}_8) = \frac{n(\text{C}_{10}\text{H}_8)}{n(\text{C}_{10}\text{H}_8) + n(\text{C}_6\text{H}_6)};$$

$$n(\text{C}_{10}\text{H}_8) = \frac{m}{M} = \frac{6,4 \text{ г}}{128 \text{ г/моль}} = 0,05 \text{ моль};$$

$$n(\text{C}_6\text{H}_6) = \frac{90}{78} = 1,15 \text{ моль}; \quad N(\text{C}_{10}\text{H}_8) = \frac{0,05}{1,15 + 0,05} = 0,042;$$

$$\frac{P_o - P}{P_o} = 0,042; \quad \frac{9953,82 - P}{9953,82} = 0,042;$$

$$P = 9521 \text{ Па} < P_o.$$

Давление насыщенного пара над раствором всегда меньше, чем над чистым растворителем.

*Ответ:* давление насыщенного пара над раствором равно 9521 Па.

**2.** Вычислите температуру кипения и замерзания водного раствора фруктозы ( $\omega_{\text{фр.}} = 5\%$ ).

**Решение.**

По II закону Рауля:

$$\Delta T_{\text{кип}} = K_{\text{эб}}(\text{H}_2\text{O}) \cdot c_m(X);$$

$$T_{\text{зам}} = K_{\text{кр}}(\text{H}_2\text{O}) \cdot c_m(X),$$

где  $\Delta T_{\text{кип}}$  – повышение температуры кипения раствора;

$\Delta T_{\text{зам}}$  – понижение температуры замерзания раствора;

$K_{\text{эб}}(\text{H}_2\text{O})$  – эбулиоскопическая константа для воды, справочная величина, равна 0,52 град · кг/моль;

$K_{\text{кр}}(\text{H}_2\text{O})$  – криоскопическая константа для воды, справочная величина, равна 1,86 град · кг/моль;

$c_m(X)$  – моляльная концентрация вещества (X).

$$c_m(X) = \frac{\omega(X) \cdot 1000}{(100 - \omega(X)) \cdot M(X)};$$

$$c_m(\text{фруктозы}) = \frac{5 \cdot 1000}{(100 - 5) \cdot 180} = 0,29 \text{ моль/кг};$$

$$\Delta T_{\text{кип}} = 0,52 \text{ град} \cdot \text{кг/моль} \cdot 0,29 \text{ моль/кг} = 0,15 \text{ град.}$$

$$T_{\text{кип}} = 100 \text{ }^\circ\text{C} + 0,15 \text{ }^\circ\text{C} = 100,15 \text{ }^\circ\text{C}.$$

$$\Delta T_{\text{зам}} = 1,86 \text{ град} \cdot \text{кг/моль} \cdot 0,29 \text{ моль/кг} = 0,54 \text{ град.}$$

$$T_{\text{зам}} = 0 \text{ }^\circ\text{C} - 0,54 \text{ }^\circ\text{C} = -0,54 \text{ }^\circ\text{C}.$$

*Ответ:* 5%-ный раствор фруктозы закипит при 100,15 °С, а замерзнет при –0,54 °С.

**3.** Рассчитайте молярную массу неэлектролита, если его массовая доля в водном растворе 1,96% и кристаллизация происходит при –0,248 °С.

**Решение.**

По II закону Рауля  $\Delta T_{\text{зам}} = K_{\text{кр}} \cdot c_m$ , где  $K_{\text{кр}}$  – криоскопическая константа воды, равная 1,86 град/(кг · моль),  $c_m$  – моляльная концентрация неэлектролита;

$$c_m = \frac{\Delta T_{\text{крист}}}{K_{\text{кр}}} = \frac{0,248}{1,86} = 0,133 \text{ моль/кг.}$$

По условию задачи в 100 г раствора содержится 1,96 г неэлектролита и 98,04 г воды:

$$c_m = \frac{m(X)}{M(X) \cdot m_{\text{р-ля}}} \Rightarrow M(X) =$$

$$= \frac{m(X)}{c_m \cdot m_{\text{р-ля}}} = \frac{1,96}{0,133 \cdot 0,098} = 150,4 \text{ г/моль.}$$

*Ответ:* молярная масса неэлектролита равна 150,4 г/моль.

**4.** Раствор, содержащий 0,85 г хлорида цинка в 125 г воды, кристаллизуется при  $-0,23\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Рассчитайте кажущуюся степень диссоциации хлорида цинка в данном растворе.

**Решение.**

Моляльная концентрация соли в растворе равна:

$$c_m = \frac{m(X)}{M(X) \cdot m_{\text{р-ля}}} \Rightarrow$$

$$c_m = 0,85 \text{ г} / 136 \text{ г/моль} \cdot 0,125 \text{ кг} = 0,05 \text{ моль/кг.}$$

По II закону Рауля понижение температуры кристаллизации без учета диссоциации электролита составляет:

$$\Delta T_{\text{кр}} = K_{\text{кр}} \cdot c_m = 1,86 \text{ град} \cdot \text{кг/моль} \cdot 0,05 \text{ моль/кг} = 0,093 \text{ град.}$$

Сравнивая найденное значение с экспериментально определенным понижением температуры кристаллизации, определяем изотонический коэффициент  $i$ :

$$i = \Delta T_{\text{кр. эксп.}} / \Delta T_{\text{кр. выч.}} = 0,23 / 0,093 = 2,47.$$

Зная изотонический коэффициент, можно найти кажущуюся степень диссоциации соли:

$$\alpha = \frac{i-1}{n-1} = \frac{2,47-1}{3-1} = 0,735.$$

*Ответ:*  $\alpha = 0,735$ .

**5.** Какую массу сахарозы следует растворить в 250 г воды, чтобы получить раствор, кипящий при  $100,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  ?

**Решение.**

По II закону Рауля  $\Delta T_{\text{кип}} = K_{\text{эб}} \cdot c_m$ , где  $K_{\text{эб}}$  — эбулиоскопическая константа воды, равная  $0,52 \text{ град} \cdot \text{кг/моль}$ ,  $c_m$  — моляльная концентрация неэлектролита сахарозы.

По условию  $\Delta T_{\text{кип}} = 100,2 - 100 = 0,2 \text{ град}$ ;

$$c_m = \frac{\Delta T_{\text{кип}}}{K_{\text{эб}}} = \frac{0,2}{0,52} = 0,385 \text{ моль/кг};$$

$$c_m = \frac{m(X)}{M(X) \cdot m_{\text{р-ля}}} \Rightarrow$$

$$m(\text{сахарозы}) = 0,385 \text{ моль/кг} \cdot 342 \text{ г/моль} \cdot 0,25 \text{ кг} = 32,9 \text{ г}$$

*Ответ:*  $m(\text{сахарозы}) = 32,9 \text{ г}$ .

**6.** Какова концентрация водного раствора глицерина в массовых долях, если кристаллизация происходит при  $-0,52 \text{ }^\circ\text{C}$ ?

**Решение.**

Понижение температуры кристаллизации раствора:

$$\Delta T_{\text{зам.}} = T_{\text{зам р-ля}} - T_{\text{зам р-ра}} \Rightarrow \Delta T_{\text{зам р-ра}} = 0 \text{ }^\circ\text{C} - (-0,52 \text{ }^\circ\text{C}) = 0,52 \text{ }^\circ\text{C}.$$

По II закону Рауля  $\Delta T_{\text{зам}} = K(\text{H}_2\text{O}) \cdot c_m(X)$ , тогда

$$c_m = \frac{\Delta T_{\text{зам}}}{K(\text{H}_2\text{O})} = \frac{0,52 \text{ град}}{1,86 \text{ кг} \cdot \text{град/моль}} = 0,28 \text{ моль/кг}.$$

Переход от моляльной концентрации к массовой доле осуществляется по формуле:

$$c_m(X) = \frac{\omega \cdot 1000}{(100 - \omega) \cdot M(X)} \Rightarrow \omega = \frac{c_m(X) \cdot (100 - \omega) \cdot M(X)}{1000};$$

$$\omega = \frac{0,28 \cdot (100 - \omega) \cdot 92}{1000} = \frac{25,76 \cdot (100 - \omega)}{1000};$$

$$\omega = \frac{2576 - 25,76\omega}{1000}; \quad 1000\omega = 2576 - 25,76\omega; \quad \omega = 2,51.$$

*Ответ:* массовая доля глицерина в водном растворе 2,51%.

**7.** Рассчитайте осмотическое давление при 310 К 20%-ного водного раствора глюкозы ( $\rho = 1,08 \text{ г/мл}$ ), применяемого для внутривенного введения, например, при отеке легкого. Каким будет этот раствор (гипо-, гипер-, изотоническим) по отношению к крови, если учесть, что  $P_{\text{осм}}$  крови равно 740–780 кПа?

**Решение.**

По закону Вант-Гоффа:

$$P_{\text{осм}} = c(X)RT,$$

где  $c(X)$  – молярная концентрация раствора;

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

$T$  – абсолютная температура.

Переход от массовой доли к молярной концентрации осуществляется по формуле:

$$c(X) = \frac{\omega \cdot \rho \cdot 10}{M(X)}; \quad c(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = \frac{20 \cdot 1,08 \cdot 10}{180} = 1,2 \text{ моль/л.}$$

Тогда

$$P_{\text{осм}} = 1,2 \cdot 10^3 \text{ моль/м}^3 \cdot 8,31 \text{ Дж/моль} \cdot 310 \text{ К} = 3\,091\,320 \text{ Па} = 3091,3 \text{ кПа.}$$

*Ответ:* так как 3091,3 кПа >  $P_{\text{осм}}$  крови, то 20%-ный раствор глюкозы является гипертоническим.

**8.** Что произойдет с эритроцитами при 310 К в 2%-ном растворе глюкозы ( $\rho = 1,006$  г/мл)?

**Решение.**

Эритроциты в гипотонических растворах за счет эндоосмоса лопаются, происходит гемолиз, а в гипертонических растворах — сморщиваются (цитолиз) за счет экзоосмоса.

Осмотическое давление 2%-ного раствора глюкозы определяется по закону Вант-Гоффа:

$$P_{\text{осм}} = c(X)RT, \text{ где } c(X) = \frac{\omega \cdot \rho \cdot 10}{M(X)}; \quad P_{\text{осм}} = \frac{\omega_{\text{гл}} \cdot \rho \cdot 10}{M_{\text{гл}}} \cdot R \cdot T = \\ = \frac{2 \cdot 1,006 \cdot 10}{180} \cdot 10^3 \text{ моль/м}^3 \cdot 8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)} \cdot 310 \text{ К} = \\ = 287951 \text{ Па} = 287,951 \text{ кПа.}$$

*Ответ:*  $P_{\text{осм}}$  2%-ного раствора глюкозы меньше осмотического давления крови, поэтому с эритроцитами в таком растворе произойдет гемолиз.

**9.** Рассчитайте осмотическое давление раствора KCl, в котором  $c(\text{KCl}) = 0,01$  моль/л, при  $T = 310$  К, если изотонический коэффициент ( $i$ ) равен 1,96. Каким будет этот раствор по отношению к плазме крови?

**Решение.**

Для растворов электролитов в уравнение Вант-Гоффа вводится изотонический коэффициент ( $i$ ) для учета электролитической диссоциации:

$$P_{\text{осм}} = i \cdot c(\text{X}) \cdot R \cdot T;$$

$$P_{\text{осм}} = 1,96 \cdot c(\text{KCl}) \cdot R \cdot T =$$

$$= 1,96 \cdot 0,01 \cdot 10^3 \text{ моль/м}^3 \cdot 8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)} \cdot 310 \text{ К} =$$

$$= 50491,56 \text{ Па} = 50,5 \text{ кПа}.$$

*Ответ:*  $c(\text{KCl}) = 0,01$  моль/л, раствор гипотоничен плазме крови.

**10.** Осмотическое давление плазмы крови равно в норме 740–780 кПа. Вычислите осмолярность плазмы крови при 310 К.

**Решение.**

По уравнению Вант-Гоффа:  $P_{\text{осм}} = c(\text{X}) \cdot R \cdot T$ ,  $c_{\text{осм}} = \frac{P_{\text{осм}}}{R \cdot T}$ , где  $c_{\text{осм}}$  — осмолярная концентрация — это суммарное молярное количество всех кинетически активных, т.е. способных к самостоятельному движению, частиц, содержащихся в 1 литре раствора, независимо от их формы, размера и природы.

$$c_{\text{осм1}} = \frac{740000 \text{ Па}}{8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)} \cdot 310 \text{ К}} = 287,3 \text{ моль/м}^3 =$$

$$= 0,287 \text{ осмоль/л};$$

$$c_{\text{осм2}} = \frac{780000 \text{ Па}}{8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)} \cdot 310 \text{ К}} = 302,8 \text{ моль/м}^3 \approx$$

$$\approx 0,303 \text{ осмоль/л}.$$

*Ответ:* осмолярность плазмы крови составляет 0,287–0,303 осмоль/л.

**11.** В клинике при дегидратации (обезвоживании) больного расчет инфузионной терапии производят с учетом осмолярности плазмы крови. Осмолярность плазмы обеспечивается, в основном, за счет содержания ионов натрия и хлора, однако при некоторых патологических состояниях существенное влияние на осмолярность могут оказывать ионы калия, молекулы глюкозы и мочевины. Рассчитайте осмолярность плазмы, если  $c(\text{Na}^+) = 155$  ммоль/л,  $c(\text{K}^+) = 5$  ммоль/л,  $c(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 10$  ммоль/л,  $c(\text{CO}(\text{NH}_2)_2) = 20$  ммоль/л.

**Решение.**

Для расчета осмолярности в условиях клиники используют формулу:

$$c_{\text{осм}} = 2 \cdot [c(\text{Na}^+) + c(\text{K}^+)] + c(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) + c(\text{CO}(\text{NH}_2)_2);$$

$$c_{\text{осм}} = 2 \cdot (155 + 5) + 10 + 20 = 350 \text{ мосмоль/л} = 0,350 \text{ осмоль/л.}$$

*Ответ:* осмолярность плазмы крови выше нормы – гиперосмолярность.

**12.** При несахарном диабете выделяются большие объемы разбавленной мочи, осмолярность которой снижается до 0,06 осмоль/л. Вычислите осмотическое давление такой мочи при 310 К.

**Решение.**

$$P_{\text{осм}} = c(X) \cdot R \cdot T =$$

$$= 0,06 \cdot 10^3 \text{ осмоль/м}^3 \cdot 8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)} \cdot 310 \text{ К} =$$

$$= 154566 \text{ Па} = 154,6 \text{ кПа.}$$

*Ответ:* осмотическое давление разбавленной мочи значительно ниже осмотического давления плазмы крови.

**13.** Какова степень электролитической диссоциации (а) дихлоруксусной кислоты в водном растворе, в котором  $c(\text{CHCl}_2\text{COOH}) = 0,01$  моль/л, если при 300 К этот раствор создает осмотическое давление в 43596,4 Па?

**Решение.**

Так как  $\text{CHCl}_2\text{COOH}$  – электролит, используется уравнение Вант-Гоффа в виде:  $P_{\text{осм}} = i \cdot c(X) \cdot R \cdot T$ .

Из этого уравнения:  $i = \frac{P_{\text{осм}}}{c(X) \cdot R \cdot T}$ ;

$$i = \frac{43596,4 \text{ Па}}{0,01 \cdot 10^3 \text{ моль/м}^3 \cdot 8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)} \cdot 310 \text{ К}} = 1,75.$$

Степень диссоциации электролита определяется по формуле:

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

где  $i$  – изотонический коэффициент;

$n$  – число ионов, на которое распадается данный электролит;

$$\alpha = \frac{1,75-1}{2-1} = 0,75.$$

*Ответ:* степень диссоциации дихлоруксусной кислоты равна 0,75.

**14.** Рассчитайте степень ионизации (диссоциации) в растворе с массовой долей аммиака 10%. Плотность раствора 0,96 г/мл.  $\text{p}K_a(\text{NH}_4^+) = 9,24$ .

**Решение.**

По закону разведения Оствальда степень ионизации слабых электролитов равна:

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_b}{c}},$$

где  $K_b$  – константа ионизации слабого основания;

$c$  – молярная концентрация аммиака в растворе.

$$c = \frac{\omega \cdot \rho \cdot 10}{M(\text{NH}_4\text{OH})} = \frac{10 \cdot 0,96 \cdot 10}{35} = 2,74 \text{ моль/л};$$

$$\text{p}K_a + \text{p}K_b = 14; \Rightarrow \text{p}K_b = 14 - 9,24 = 4,76;$$

$$K_b = 10^{-4,76} = 1,74 \cdot 10^{-5};$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{1,74 \cdot 10^{-5}}{2,74}} = 2,51 \cdot 10^{-3}.$$

*Ответ:* степень ионизации аммиака равна  $2,51 \cdot 10^{-3}$ .

**15.** Вычислите степень ионизации (а) гликолевой кислоты в растворе, в котором  $c(\text{гликол. к-ты}) = 0,05$  моль/л. Константа ионизации гликолевой кислоты равна  $1,48 \cdot 10^{-4}$ .

**Решение.**

Гликолевая кислота — слабый электролит. По закону Оствальда

$$\alpha = \sqrt{\frac{K}{c}},$$

где  $\alpha$  — степень диссоциации (ионизации) слабого электролита;

$K$  — константа ионизации слабого электролита;

$c$  — молярная концентрация слабого электролита.

$$\alpha = \sqrt{\frac{1,48 \cdot 10^{-4}}{5 \cdot 10^{-2}}} = 5,44 \cdot 10^{-2}.$$

*Ответ:* степень ионизации гликолевой кислоты  $5,44 \cdot 10^{-2}$ .

**16.** Рассчитайте ионную силу раствора «Трисоль», применяемого в медицинской практике в качестве плазмозамещающего раствора, на основании его прописи:

натрия хлорид — 0,5 г;

калия хлорид — 0,1 г;

натрия гидрокарбонат — 0,4 г;

вода для инъекций — до 100 мл.

**Решение.**

Ионная сила раствора ( $I$ ) определяется как полусумма произведений концентраций каждого иона на квадрат его заряда:

$$I = \frac{1}{2} \sum c_i \cdot z_i^2.$$

Для определения концентрации каждого иона необходимо найти количества веществ, входящих в состав прописи:

$$n(\text{NaCl}) = \frac{0,5 \text{ г}}{58,5 \text{ г/моль}} = 0,0085 \text{ моль};$$

$$n(\text{KCl}) = \frac{0,1 \text{ г}}{74,5 \text{ г/моль}} = 0,0013 \text{ моль};$$

$$n(\text{NaHCO}_3) = \frac{0,4 \text{ г}}{84 \text{ г/моль}} = 0,0048 \text{ моль};$$

$$c(\text{X}) = \frac{n(\text{X})}{V_{\text{р-ра}}}; \quad c(\text{NaCl}) = \frac{0,0085 \text{ моль}}{0,1 \text{ л}} = 0,085 \text{ моль/л};$$

$$c(\text{KCl}) = \frac{0,0013 \text{ моль}}{0,1 \text{ л}} = 0,013 \text{ моль/л};$$

$$c(\text{NaHCO}_3) = \frac{0,0048 \text{ моль}}{0,1 \text{ л}} = 0,048 \text{ моль/л};$$

$$I = \frac{1}{2} (0,085 \cdot 1^2 + 0,085 \cdot 1^2 + 0,013 \cdot 1^2 + 0,013 \cdot 1^2 + 0,048 \cdot 1^2 + 0,048 \cdot 1^2) = 0,146 \text{ моль/л}.$$

Для сравнения: ионная сила плазмы крови равна 0,15 моль/л.

*Ответ:* ионная сила раствора «Трисоль» равна 0,146 моль/л, что соответствует ионной силе плазмы крови.

**17.** Водный раствор сульфата меди(II) с массовой долей 1% ( $\rho = 1,009 \text{ г/мл}$ ) назначают в малых дозах для улучшения кроветворной функции. Вычислите активность ионов меди в таком растворе ( $T = 298 \text{ К}$ ).

**Решение.**

$a(\text{X}) = \gamma \cdot c(\text{X}) \cdot n(\text{X})$ , где  $a$  – активность иона X,  $\gamma$  – коэффициент активности,  $n$  – число одинаковых ионов, образующихся при диссоциации электролита.

$$a(\text{Cu}^{2+}) = \gamma \cdot c(\text{Cu}^{2+}) \cdot n(\text{Cu}^{2+}).$$

Коэффициент активности  $\gamma$  можно рассчитать по уравнению Дебая-Хюккеля:

$$\lg \gamma = -0,51 \cdot z^2 \cdot \sqrt{I},$$

где  $z$  – заряд иона,  $I$  – ионная сила раствора.

Ионная сила раствора

$$I = \frac{1}{2} [c(\text{Cu}^{2+}) \cdot z^2(\text{Cu}^{2+}) + c(\text{SO}_4^{2-}) \cdot z^2(\text{SO}_4^{2-})];$$

$$c(\text{CuSO}_4) = \frac{\omega \cdot \rho \cdot 10}{M} = \frac{1 \cdot 1,009 \cdot 10}{160} = 0,063 \text{ моль/л};$$

$$I = \frac{1}{2} (0,063 \cdot 2^2 + 0,063 \cdot 2^2) = 0,252 \text{ моль/л};$$

$$\lg \gamma = -0,51 \cdot 2^2 \cdot \sqrt{0,252} = -1,02;$$

$$\gamma = 0,095;$$

$$a(\text{Cu}^{2+}) = 0,095 \cdot 0,063 \cdot 1 = 0,006 \text{ моль/л}.$$

*Ответ:* активность ионов меди 0,006 моль/л.

**18.** При  $T = 310 \text{ К}$  ионное произведение воды  $K_w = 2,14 \cdot 10^{-14}$ . Чему будет равно значение рН для нейтральной среды?

**Решение.**

$$a(\text{H}^+) = a(\text{OH}^-) = \sqrt{K_w} = 1,07 \cdot 10^{-7} \text{ моль/л}.$$

$$\text{pH} = -\lg a(\text{H}^+) = -\lg 1,07 \cdot 10^{-7} = 6,97.$$

*Ответ:* рН = 6,97.

**19.** Рассчитайте концентрацию ионов водорода в артериальной крови с рН = 7,42.

**Решение.**

$$\text{pH} = -\lg c(\text{H}^+) \Rightarrow c(\text{H}^+) = 10^{-\text{pH}} = 10^{-7,42} = 3,8 \cdot 10^{-8} \text{ моль/л}.$$

*Ответ:* концентрация ионов водорода в артериальной крови составляет  $3,8 \cdot 10^{-8}$  моль/л.

**20.** Рассчитайте общую кислотность раствора уксусной кислоты, если pH раствора равен 4,76.  $pK(\text{CH}_3\text{COOH}) = 4,76$ .

**Решение.**

Кислотные свойства растворов обусловлены присутствием в растворах гидратированных ионов водорода  $\text{H}_3\text{O}^+$ . Значение концентрации ионов водорода соответствует активной кислотности раствора. Недиссоциированная кислота в растворе составляет его потенциальную кислотность. Сумма активной и потенциальной кислотностей представляет собой общую кислотность.

Общая кислотность определяется титрованием щелочью и называется также титруемой или аналитической кислотностью. Активная кислотность измеряется колориметрическим или потенциометрическим методами, потенциальная кислотность определяется по разности общей и активной кислотностей. Измеряются все виды кислотностей в моль/л.



$$K_{\text{дис}} = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-] \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}] \cdot [\text{H}_2\text{O}]}; \quad [\text{CH}_3\text{COO}^-] = [\text{H}_3\text{O}^+].$$

Так как  $\text{CH}_3\text{COOH}$  — слабая кислота, то можно допустить, что потенциальная кислотность  $[\text{CH}_3\text{COOH}] = c_{\text{общ}}$ , тогда

$$K_{\text{д}}(\text{CH}_3\text{COOH}) = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]^2}{c_{\text{общ}}}.$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = \sqrt{c_{\text{общ}} \cdot K_{\text{д}}} \Rightarrow \text{pH} = \frac{1}{2} (\text{pK}(\text{CH}_3\text{COOH}) - \lg c_{\text{общ}});$$

$$\lg c_{\text{общ}} = \text{pK}(\text{CH}_3\text{COOH}) - 2\text{pH} = 4,76 - 2 \cdot 4,76 = -4,76;$$

$$c_{\text{общ}} = 1,75 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л.}$$

*Ответ:* общая кислотность уксусной кислоты  $1,75 \cdot 10^{-5}$  моль/л.

**21.** Вычислите рН 0,1М раствора HCl, учитывая, что коэффициент активности  $\gamma = 0,9$ .

**Решение.**

В растворах сильных электролитов за счет сил межмолекулярных взаимодействий активная концентрация ( $a$ ) отличается от аналитической ( $c$ ):

$a(X) = \gamma \cdot c(X)$ , где  $\gamma$  – коэффициент активности.

$$a(\text{HCl}) = 0,9 \cdot 0,1 = 0,09 \text{ моль/л};$$

$$\text{pH} = -\lg a(\text{H}^+) = -\lg(9 \cdot 10^{-2}) = 1,05.$$

*Ответ:* рН в 0,1М растворе HCl равен 1,05.

**22.** Смешали 50 мл раствора, в котором  $c(\text{HCl}) = 0,2$  моль/л, и 300 мл раствора с  $c(\text{HCl}) = 0,02$  моль/л. Вычислите рН полученного раствора, если  $\gamma(\text{HCl}) = 0,9$ .

**Решение.**

$$V_{\text{общ}} = V_1 + V_2 = 50 \text{ мл} + 300 \text{ мл} = 350 \text{ мл};$$

$$n_{\text{общ}} = n_1 + n_2;$$

$$n_1(\text{HCl}) = c_1 \cdot V_1 = 0,2 \text{ моль/л} \cdot 0,050 \text{ л} = 0,01 \text{ моль};$$

$$n_2(\text{HCl}) = c_2 \cdot V_2 = 0,02 \text{ моль/л} \cdot 0,300 \text{ л} = 0,006 \text{ моль};$$

$$n_{\text{общ}} = 0,01 + 0,006 = 0,016 \text{ моль};$$

$$c_{\text{общ}} = \frac{n_{\text{общ}}}{V_{\text{общ}}} = \frac{0,016 \text{ моль}}{0,350 \text{ л}} = 0,046 \text{ моль/л};$$

$$a(\text{H}^+) = \gamma \cdot c = 0,9 \cdot 0,046 = 0,041 \text{ моль/л};$$

$$\text{pH} = -\lg 0,041 = 1,38.$$

*Ответ:* рН полученного раствора 1,38.

**23.** В желудочном соке содержится соляная кислота, которая относится к сильным электролитам и практически полностью диссоциирует в водных растворах. Рассчитайте рН желудочного сока, если массовая доля  $\text{HCl}$  в нем составляет в норме 0,5%. Плотность желудочного сока принять равной  $1 \text{ г/см}^3$ .

**Решение.**

Так как  $\text{HCl}$  диссоциирует полностью:  $\text{HCl} \rightarrow \text{H}^+ + \text{Cl}^-$ , то концентрация  $\text{H}^+$  равна концентрации  $\text{HCl}$ .

По формуле  $c = \frac{\omega \cdot \rho \cdot 10}{M}$  определяем молярную концентрацию  $\text{HCl}$ , а следовательно, и молярную концентрацию ионов водорода:

$$c(\text{HCl}) = \frac{0,5 \cdot 1 \cdot 10}{36,5} = 0,137 \text{ моль/л}; \quad c(\text{H}^+) = 0,137 \text{ моль/л};$$

$\text{pH} = -\lg a(\text{H}^+)$ , где  $a(\text{H}^+)$  — активная концентрация ионов водорода;

$a(\text{H}^+) = \gamma \cdot c$ , где  $\gamma$  — коэффициент активности, который можно рассчитать или найти по справочнику.

Для простоты расчета примем, что  $\gamma = 1$ , тогда  $a = c$ .

$$\text{pH} = -\lg 0,137 = 0,86.$$

*Ответ:*  $\text{pH}$ (желуд. сока) = 0,86.

**24.** Рассчитайте рН в 5%-ном растворе муравьиной кислоты, если степень ее диссоциации составляет 0,01%, а плотность раствора равна  $1,012 \text{ г/мл}$ .

**Решение.**

Муравьиная кислота слабая и диссоциирует обратимо:



поэтому расчет рН ведем с учетом степени диссоциации слабой кислоты:

$$pH = -\lg(c \cdot \alpha),$$

где  $c = \frac{\omega \cdot \rho \cdot 10}{M}$ ,  $\alpha$  – степень диссоциации;

$$pH = -\lg\left(\frac{\omega \cdot \rho \cdot 10}{M} \cdot \alpha\right) = -\lg\left(\frac{5 \cdot 1,012 \cdot 10}{46} \cdot 0,0001\right) = 3,96.$$

Ответ:  $pH = 3,96$ .

**25.** Вычислите  $pH$  раствора соляной кислоты, в котором  $c(\text{HCl}) = 0,0004$  моль/л, если коэффициент активности  $\gamma = 1$ .

**Решение.**

$\text{HCl}$  — сильный электролит, диссоциирует практически полностью, в сильно разбавленном растворе силы межмолекулярного взаимодействия практически отсутствуют ( $\gamma = 1$ ), поэтому  $c(\text{HCl}) = c(\text{H}^+)$ .

$$pH = -\lg c(\text{H}^+) = -\lg(4 \cdot 10^{-4}) = 3,4.$$

Ответ:  $pH(\text{HCl}) = 3,4$ .

**26.** Вычислите  $pH$  раствора уксусной кислоты, если  $c(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,04$  моль/л.

**Решение.**

$\text{CH}_3\text{COOH}$  — слабый электролит, диссоциирует частично, поэтому  $c(\text{CH}_3\text{COOH}) \neq c(\text{H}^+)$ .

Для расчета  $pH$  в растворах слабых электролитов используется формула:

$$pH = \frac{1}{2} pK(\text{к-ты}) - \frac{1}{2} \lg c(\text{к-ты});$$

$pK(\text{к-ты})$  — справочная величина, равная 4,76;

$$pH = \frac{1}{2} \cdot 4,76 - \frac{1}{2} \lg 0,04 = 3,08.$$

Ответ:  $pH(\text{CH}_3\text{COOH}) = 3,08$ .

**27.** К 150 мл раствора с концентрацией гидроксида калия 0,25 моль/л добавили 500 мл дистиллированной воды. Как изменится рН полученного раствора? Коэффициент активности ионов  $\text{OH}^-$  принять равным 1.

**Решение.**

Количество вещества гидроксида калия в исходном растворе равно:

$$n = c \cdot V = 0,25 \text{ моль/л} \cdot 0,15 \text{ л} = 0,0375 \text{ моль};$$

при добавлении дистиллированной воды изменяется объем раствора, а количество вещества КОН остается прежним, поэтому концентрация вещества в полученном растворе составит:

$$c = n/V = 0,0375 \text{ моль}/0,65 \text{ л} = 0,058 \text{ моль/л};$$

КОН — сильный электролит, активную концентрацию ионов  $\text{OH}^-$  принимаем равной аналитической (по условию  $\gamma = 1$ );

$$\text{pH исходного раствора равен: } 14 - \text{pOH}, \text{pOH}_1 = -\lg 0,25 = 0,6;$$

$$\text{pH}_1 = 14 - 0,6 = 13,4;$$

$\text{pOH}_2$  в полученном растворе составляет  $-\lg 0,058 = 1,24$ , следовательно,  $\text{pH}_2$  разбавленного раствора равен  $14 - 1,24 = 12,76$ ;

$$\Delta \text{pH} = \text{pH}_1 - \text{pH}_2 = 13,4 - 12,76 = 0,64.$$

*Ответ:* при разбавлении раствора его рН изменился на 0,64 ед.

**28.** Вычислите рН 0,03М раствора слабого однокислотного основания (В).  $K_a = 1,8 \cdot 10^{-9}$ .

**Решение.**

рН раствора слабого однокислотного основания рассчитывается по формуле:

$$\text{pH} = 14 - \frac{1}{2} \text{p}K_a + \frac{1}{2} \lg c(\text{B});$$

$$\text{p}K_a = -\lg K_a = -\lg 1,8 \cdot 10^{-9} = 8,74;$$

$$\text{pH} = 14 - \frac{1}{2} \cdot 8,74 + \frac{1}{2} \lg 0,03 = 8,11.$$

*Ответ:* рН = 8,11.

**29.** Рассчитайте pH природной воды, если в 10 л этой воды растворено 11,2 л  $\text{CO}_2$  (н.у.).

**Решение.**

При растворении  $\text{CO}_2$  в воде образуется раствор угольной кислоты  $\text{H}_2\text{CO}_3$ :  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3$ .

Рассчитаем начальную молярную концентрацию ( $c_0$ ) полученного раствора. Известно, что при нормальных условиях (н.у.) 1 моль любого газа занимает объем 22,4 л. Следовательно, концентрацию  $\text{CO}_2$  в воде и концентрацию  $\text{H}_2\text{CO}_3$  можно рассчитать из соотношения:

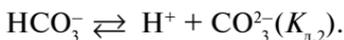
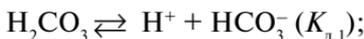
$$c_0 = \frac{V_{\text{г}}}{22,4V_{\text{в}}},$$

где  $V_{\text{в}}$  – объем воды;  $V_{\text{г}}$  – объем  $\text{CO}_2$ .

Подставляя числовые значения, получаем:

$$c_0 = \frac{11,2}{22,4 \cdot 10} = 0,05 \text{ моль/л.}$$

Угольная кислота является слабым электролитом и диссоциирует в воде по двум ступеням:



Константа диссоциации  $K_{\text{д},1} \gg K_{\text{д},2}$ , поэтому pH полученного раствора следует рассчитывать по первой ступени диссоциации. Согласно табличным данным, для угольной кислоты  $K_{\text{д},1} = 4,45 \cdot 10^{-7}$ .

Степень диссоциации угольной кислоты определяем по уравнению:

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_{\text{д},1}}{c_0}} = \sqrt{\frac{4,45 \cdot 10^{-7}}{5 \cdot 10^{-2}}} = 3 \cdot 10^{-3}.$$

Концентрация ионов  $\text{H}^+$  в растворе при растворении в воде углекислого газа определяется как произведение  $\alpha \cdot c_0$ :

$$c(\text{H}^+) = \alpha \cdot c_0 = 3 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 10^{-2} = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л.}$$

pH полученного раствора:

$\text{pH} = -\lg c(\text{H}^+) = -\lg 1,5 \cdot 10^{-4} = 3,8$ , следовательно, среда кислая.

*Ответ:* pH воды равен 3,8.

**30.** Объясните причины различия предельных подвижностей ионов  $\text{Na}^+$  и  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{OH}^-$ .

**Решение.**

Предельная подвижность ионов зависит только от их природы и температуры. Природа иона определяется радиусом иона и величиной его заряда. Чем выше плотность заряда на единицу поверхности иона, тем больше степень его гидратации, радиус гидратированного иона и тем меньше предельная подвижность иона. Поэтому  $u^\circ(\text{Na}^+) < u^\circ(\text{Cl}^-)$ .

Ионы  $\text{H}^+$  и  $\text{OH}^-$  обладают аномально высокой предельной подвижностью, что связано с особым эстафетным механизмом их движения.

Под действием внешнего электрического поля в ассоциированных водородными связями молекулах воды происходит перераспределение связей, в результате чего обеспечивается перенос ионов  $\text{H}^+$  и  $\text{OH}^-$ . При движении ионов  $\text{H}^+$  они как бы передаются от одной молекулы воды к другой, а при движении ионов  $\text{OH}^-$  протоны передаются от молекулы воды к ионам  $\text{OH}^-$ .

а) перенос  $\text{H}^+$ :



б) перенос  $\text{OH}^-$ :



**31.** Сопротивление раствора KCl ( $c(\text{KCl}) = 0,1$  моль/л) при 298 К равно 32,55 Ом. Сопротивление плазмы крови, измеренное при той же температуре в той же кондуктометрической ячейке, равно 40,4 Ом. Вычислите удельную проводимость плазмы крови.

**Решение.**

По справочнику определяем:  $k(0,1\text{M KCl}) = 1,288 \text{ См} \cdot \text{м}^{-1}$ .

Определяем константу ячейки:

$$k = \kappa(\text{KCl}) \cdot R(\text{KCl}) = 1,288 \cdot 32,55 = 41,924 \text{ м}^{-1}.$$

Определяем  $\kappa$  плазмы крови:

$$\kappa(\text{плазмы кр.}) = \frac{k}{R(\text{плазмы кр.})} = \frac{41,924}{40,4} = 1,038 \text{ См} \cdot \text{м}^{-1}.$$

*Ответ:* удельная проводимость плазмы крови равна  $1,038 \text{ См} \cdot \text{м}^{-1}$ , что ниже нормы.

**32.** 0,759 г KOH растворили в воде и получили 800 мл раствора. Сопротивление этого раствора в кондуктометрической ячейке равно 184 Ом. Константа ячейки равна  $80 \text{ м}^{-1}$ . Рассчитайте молярную электрическую проводимость раствора KOH.

**Решение.**

Определяем молярную концентрацию KOH в растворе:

$$c(\text{KOH}) = \frac{m(\text{KOH})}{M(\text{KOH}) \cdot V_{\text{р-ра}} (\text{л})} = \frac{0,759 \text{ г}}{56 \text{ г/моль} \cdot 0,8 \text{ л}} = 0,017 \text{ моль/л}.$$

Определяем удельную электрическую проводимость раствора KOH:

$$\kappa = \frac{K_{\text{ячейки}}}{R_{\text{р-ра}}} = \frac{80 \text{ м}^{-1}}{184 \text{ Ом}} = 0,43 \text{ См/м}.$$

Рассчитываем молярную электрическую проводимость раствора KOH:

$$\Lambda = \frac{\kappa}{c \cdot 1000} = \frac{0,43 \text{ См/м}}{0,017 \cdot 1000 \text{ моль/м}^3} = 0,025 \text{ См} \cdot \text{м}^2/\text{моль}.$$

*Ответ:* молярная проводимость KOH в растворе равна  $0,025 \text{ См} \cdot \text{м}^2/\text{моль}$ .

**33.** Вычислите молярную электрическую проводимость раствора с массовой долей хлорида алюминия, равной 12% ( $\rho = 1,109$  г/мл), если удельная электрическая проводимость этого раствора равна  $0,1041 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ .

**Решение.**

Определяем молярную концентрацию  $\text{AlCl}_3$ :

$$c(\text{AlCl}_3) = \frac{\omega \cdot \rho \cdot 10}{M}; \quad c(\text{AlCl}_3) = \frac{12 \cdot 1,109 \cdot 10}{133,5} = 0,997 \text{ моль/л.}$$

Определяем молярную электрическую проводимость раство-

ра  $\text{AlCl}_3$  по формуле:  $\Lambda(\text{AlCl}_3) = \frac{\kappa}{c \cdot 1000}$ ;

$$\Lambda(\text{AlCl}_3) = \frac{0,1041 \cdot 100}{0,997 \cdot 1000} = 0,0104 \text{ См} \cdot \text{м}^2/\text{моль.}$$

*Ответ:* молярная электрическая проводимость 12%-ного раствора  $\text{AlCl}_3$  равна  $0,0104 \text{ См} \cdot \text{м}^2/\text{моль}$ .

**34.** Вычислите предельную молярную электрическую проводимость  $\text{CaCl}_2$  в растворе при  $25^\circ\text{C}$ .

**Решение.**

Запишем уравнение диссоциации  $\text{CaCl}_2$  в бесконечно разбавленном растворе:



По закону Кольрауша:  $\Lambda^\circ(\text{CaCl}_2) = \lambda^\circ(\text{Ca}^{2+}) + 2 \cdot \lambda^\circ(\text{Cl}^-)$ ;

где  $\lambda^\circ(\text{Ca}^{2+})$  и  $\lambda^\circ(\text{Cl}^-)$  — справочные величины;

$$\Lambda^\circ(\text{CaCl}_2) = (119,0 + 2 \cdot 76,3) \cdot 10^{-4} = 271,6 \cdot 10^{-4} \text{ См} \cdot \text{м}^2/\text{моль.}$$

*Ответ:* предельная молярная проводимость хлорида кальция равна  $271,6 \cdot 10^{-4} \text{ См} \cdot \text{м}^2/\text{моль}$ .

**35.** Рассчитайте удельную электрическую проводимость 0,16М раствора пропионовой кислоты при 25 °С ( $K_d(\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}) = 1,34 \cdot 10^{-5}$ ).

**Решение.**

Определяем степень диссоциации:

$$\alpha = \sqrt{K_d / c} = \sqrt{1,34 \cdot 10^{-5} / 0,16} = 0,00915.$$

Определяем предельную молярную электрическую проводимость  $\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}$  по закону Кольрауша:

$$\Lambda^\circ(\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}) = \lambda^\circ(\text{H}^+) + \lambda^\circ(\text{C}_2\text{H}_5\text{COO}^-);$$

$$\begin{aligned} \Lambda^\circ(\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}) &= (349,8 + 35,8) \cdot 10^{-4} = \\ &= 385,6 \cdot 10^{-4} \text{ См} \cdot \text{м}^2 / \text{моль}. \end{aligned}$$

Определяем молярную электрическую проводимость раствора  $\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}$ :

$$\alpha = \frac{\Lambda}{\Lambda^\circ} \Rightarrow \Lambda = \alpha \cdot \Lambda^\circ;$$

$$\Lambda = 0,00915 \cdot 385,6 \cdot 10^{-4} = 3,528 \cdot 10^{-4} \text{ См} \cdot \text{м}^2 / \text{моль}.$$

Определяем удельную электрическую проводимость раствора  $\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}$ :

$$\Lambda(\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}) = \frac{\kappa}{c \cdot 1000} \Rightarrow$$

$$\begin{aligned} \kappa(\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}) &= \Lambda \cdot c \cdot 1000 = 3,528 \cdot 10^{-4} \cdot 0,16 \cdot 1000 = \\ &= 5,65 \cdot 10^{-2} \text{ См} \cdot \text{м}^{-1}. \end{aligned}$$

*Ответ:*  $\kappa(\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH})$  при 25 °С равна  $5,65 \cdot 10^{-2} \text{ См} \cdot \text{м}^{-1}$ .

**36.** Удельная электрическая проводимость насыщенного раствора  $\text{AgBr}$  равна  $11,1 \cdot 10^{-6} \text{ См} \cdot \text{м}^{-1}$ . Найдите константу растворимости соли, если

$$\lambda^\circ(\text{Ag}^+) = 61,9 \cdot 10^{-4} \text{ См} \cdot \text{м}^2 / \text{моль};$$

$$\lambda^\circ(\text{Br}^-) = 78,4 \cdot 10^{-4} \text{ См} \cdot \text{м}^2 / \text{моль};$$

$$\kappa(\text{H}_2\text{O}) = 2,0 \cdot 10^{-6} \text{ См} \cdot \text{м}^{-1}.$$

**Решение.**

Внесем поправку на удельную электрическую проводимость ВОДЫ:

$$\begin{aligned} \kappa(\text{AgBr}) &= \kappa_{\text{р-ра}}(\text{AgBr}) - \kappa(\text{H}_2\text{O}) = (11,1 - 2,0) \cdot 10^{-6} = \\ &= 9,1 \cdot 10^{-6} \text{ См} \cdot \text{м}^{-1}; \end{aligned}$$

$\Lambda^\circ(\text{AgBr})$  по закону Кольрауша равна:

$$\Lambda^\circ(\text{AgBr}) = \lambda^\circ(\text{Ag}^+) + \lambda^\circ(\text{Br}^-);$$

$$\Lambda^\circ(\text{AgBr}) = (61,9 + 78,4) \cdot 10^{-4} = 140,3 \cdot 10^{-4} \text{ См} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{моль}^{-1}.$$

Определяем молярную концентрацию AgBr в насыщенном растворе.

Так как в сильно разбавленных растворах

$$\Lambda(\text{AgBr}) = \Lambda^\circ(\text{AgBr}), \text{ то}$$

$$s = c(\text{AgBr}) = \frac{\kappa}{\Lambda^\circ \cdot 1000} = \frac{9,1 \cdot 10^{-6}}{140,3 \cdot 10^{-4} \cdot 1000} = 6,48 \cdot 10^{-7} \text{ моль/л.}$$

Определяем константу растворимости AgBr. Так как электролит бинарный, то  $[\text{Ag}^+] = [\text{Br}^-] = s(\text{AgBr})$ ;

$$K_s(\text{AgBr}) = s^2 = (6,48 \cdot 10^{-7})^2; K_s(\text{AgBr}) = 4,21 \cdot 10^{-13}.$$

$$\text{Ответ: } K_s(\text{AgBr}) = 4,21 \cdot 10^{-13}.$$

**37.** Раствор с концентрацией уксусной кислоты 0,001М имеет удельную электрическую проводимость  $4,1 \cdot 10^{-3}$  См/м. Рассчитайте рН этого раствора и  $K_d$  уксусной кислоты, если известно, что  $\lambda^\circ(\text{Na}^+) = 44,4 \cdot 10^{-4}$  См  $\cdot$  м<sup>2</sup>/моль;  $\lambda^\circ(\text{H}^+) = 315 \cdot 10^{-4}$  См  $\cdot$  м<sup>2</sup>/моль;  $\Lambda^\circ(\text{CH}_3\text{COONa}) = 78,1 \cdot 10^{-4}$  См  $\cdot$  м<sup>2</sup>/моль.

**Решение.**

Для расчетов необходимо знать  $\Lambda^\circ(\text{CH}_3\text{COOH})$ , а эту величину можно найти, используя следующие справочные данные:

$$\Lambda^\circ(\text{CH}_3\text{COOH}) = \lambda^\circ(\text{CH}_3\text{COO}^-) + \lambda^\circ(\text{H}^+);$$

$$\Lambda^\circ(\text{CH}_3\text{COONa}) = \lambda^\circ(\text{CH}_3\text{COO}^-) + \lambda^\circ(\text{Na}^+);$$

$$\lambda^\circ(\text{CH}_3\text{COO}^-) = \Lambda^\circ(\text{CH}_3\text{COONa}) - \lambda^\circ(\text{Na}^+);$$

$$\Lambda^\circ(\text{CH}_3\text{COOH}) = \Lambda^\circ(\text{CH}_3\text{COONa}) - \lambda^\circ(\text{Na}^+) + \lambda^\circ(\text{H}^+);$$

$$\Lambda^{\circ}(\text{CH}_3\text{COOH}) = 78,1 \cdot 10^{-4} - 44,4 \cdot 10^{-4} + 315 \cdot 10^{-4} = 348,7 \cdot 10^{-4} \text{ См} \cdot \text{м}^2/\text{моль};$$

$\text{pH} = -\lg c(\text{H}^+)$ ,  $c(\text{H}^+) = \alpha \cdot c$  (уксусная кислота – слабый электролит),  $\alpha$  – степень диссоциации, которую можно найти по формуле:

$$\alpha = \frac{\Lambda_c}{\Lambda^{\circ}}; \text{ так как } \Lambda_c = \frac{\kappa}{c \cdot 1000}, \text{ то}$$

$$\alpha = \frac{\kappa}{c \cdot 1000 \cdot \Lambda^{\circ}}; \quad \alpha = \frac{4,1 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 10^{-3} \cdot 1000 \cdot 348,7 \cdot 10^{-4}} = 0,12;$$

$$c(\text{H}^+) = 0,12 \cdot 0,001 = 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л};$$

$$\text{pH} = -\lg 1,2 \cdot 10^{-4} = 3,92.$$

$K_{\text{д}}(\text{CH}_3\text{COOH})$  можно рассчитать:

а) по закону Оствальда  $K_{\text{д}} = \frac{c\alpha^2}{1-\alpha};$

б) по формуле  $K_{\text{д}} = \frac{\Lambda_c^2 \cdot c}{\Lambda^{\circ}(\Lambda^{\circ} - \Lambda_c)};$

$$K_{\text{д}} = \frac{(4,1 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 0,001}{348,7 \cdot 10^{-4} (348,7 \cdot 10^{-4} - 4,1 \cdot 10^{-3})} = 1,57 \cdot 10^{-5}.$$

Ответ:  $\text{pH} = 3,92$ ;  $K_{\text{д}}(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1,57 \cdot 10^{-5}$ .

**38.** Определите  $\text{pH}$  желудочного сока человека, если молярная электрическая проводимость его при  $37 \text{ }^{\circ}\text{C}$  равна  $370 \text{ См} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$  ( $370 \cdot 10^{-4} \text{ См} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$ ), а удельное сопротивление  $0,9 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ .

**Решение.**

Определяем удельную электрическую проводимость ( $\kappa$ ) желудочного сока:

$$\kappa = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{0,9} = 1,11 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}.$$

Определяем молярную концентрацию HCl в желудочном соке:

$$\Lambda_{\text{жел.сок}} = \frac{\kappa}{c \cdot 1000} \Rightarrow c(\text{HCl}) = \frac{\kappa}{\Lambda \cdot 1000};$$

$$c(\text{HCl}) = \frac{1,11}{370 \cdot 10^{-4} \cdot 1000} = 0,03 \text{ моль/л.}$$

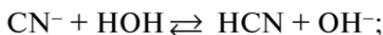
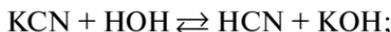
Определяем pH желудочного сока:  $\text{pH} = -\lg[\text{H}^+]$ . Так как соляная кислота – сильный электролит, то  $[\text{H}^+] = c(\text{HCl})$  (отличием коэффициента активности  $\gamma$  от единицы можно пренебречь).

$$\text{pH} = -\lg(0,03) = 1,52.$$

*Ответ:* pH желудочного сока равен 1,52.

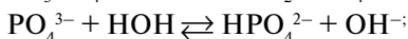
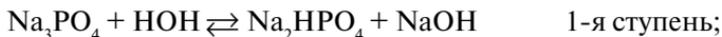
**39.** Рассчитайте константы гидролиза солей KCN и  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ . Оцените реакцию среды в растворах этих солей.

**Решение.**



$$K_r(\text{KCN}) = \frac{K_w}{K_a} = \frac{10^{-14}}{1 \cdot 10^{-9}} = 1 \cdot 10^{-5}, \text{p}K_r = 5.$$

Сравниваем  $\text{p}K_r$  и  $\text{p}K_a$ :  $\text{p}K_r(\text{KCN}) = 5$ ,  $\text{p}K_a(\text{HCN}) = 9$ ,  $\text{p}K_r > \text{p}K_a$ , следовательно, среда кислая,  $\text{pH} < 7$ .



$$K_r(\text{Na}_3\text{PO}_4) = \frac{K_w}{K_a} = \frac{1 \cdot 10^{-14}}{4,57 \cdot 10^{-13}} = 2,1 \cdot 10^{-2}, \text{p}K_r = 1,68;$$

$\text{p}K_a(\text{PO}_4^{3-}) = 12,34 > \text{p}K_r = 1,68$ , следовательно, среда щелочная.





$$K_r(\text{NaHPO}_4) = \frac{K_w}{K_a} = \frac{1 \cdot 10^{-14}}{6,16 \cdot 10^{-8}} = 1,6 \cdot 10^{-7}, pK_{r2} = 6,8;$$

$pK_a(\text{HPO}_4^{2-}) = 7,21 > pK_r = 6,8$ , следовательно, среда щелочная;

$$pH(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 1/2pK_{a2} + 1/2pK_{a3} = 1/2 \cdot 7,21 + 1/2 \cdot 12,34 = 9,78, \text{ среда } \underline{\text{щелочная}}.$$



$$K_r(\text{NaH}_2\text{PO}_4) = \frac{K_w}{K_a} = \frac{1 \cdot 10^{-14}}{7,24 \cdot 10^{-3}} = 1,38 \cdot 10^{-12}, pK_{r3} = 11,86;$$

$pK_a(\text{H}_2\text{PO}_4^-) = 2,14 < pK_r = 11,86$ , следовательно, среда кислая.

$$pH(\text{NaH}_2\text{PO}_4) = 1/2pK_{a1} + 1/2pK_{a2} = 1/2 \cdot 2,14 + 1/2 \cdot 7,21 = 4,68 \text{ — среда } \underline{\text{кислая}}.$$

Так как  $pK_{r1} < pK_{r2} < pK_{r3}$ , поэтому гидролиз протекает преимущественно по первой ступени.

В растворах кислых солей одновременно протекают два процесса: гидролиз и ионизация:



Реакция среды определяется соотношением между количеством поступающих в раствор ионов  $\text{H}^+$  и  $\text{OH}^-$ .

Реакция среды определяется тем процессом, который характеризуется меньшим значением  $pK_r$  или  $pK_a$ .

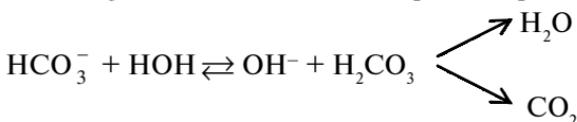
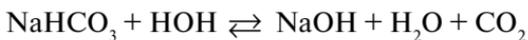
*Ответ:*  $pK_r(\text{KCN}) = 5$ ; для фосфата натрия:  $pK_{r1} = 1,68$ ;

$$pK_{r2} = 6,8; pK_{r3} = 11,86.$$

**40.** В результате реакции гидролиза гидрокарбоната натрия в его растворе создается слабощелочная среда. Рассчитайте pH раствора, содержащего 10 г гидрокарбоната натрия в 200 мл раствора, если степень гидролиза равна 0,01%. Такой раствор используют для полоскания горла.

**Решение.**

Гидролиз солей – процесс обратимый:



В результате гидролиза образуются  $\text{OH}^-$ -ионы, т.е. среда в растворе – щелочная.

Концентрация  $\text{OH}^-$ -ионов определяется по формуле:

$c(\text{OH}^-) = h \cdot c(\text{NaHCO}_3)$ , где  $h$  – степень гидролиза соли, а  $c(\text{NaHCO}_3)$  – молярная концентрация  $\text{NaHCO}_3$  в растворе;

$$c(\text{NaHCO}_3) = \frac{m(\text{NaHCO}_3)}{M(\text{NaHCO}_3) \cdot V_{\text{р-ра(л)}}} = \frac{10 \text{ г}}{84 \text{ г/моль} \cdot 0,2 \text{ л}} = 0,59 \text{ моль/л};$$

$$c(\text{OH}^-) = 0,0001 \cdot 0,59 = 5,9 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л.}$$

$$\text{p}(\text{OH}) = -\lg c(\text{OH}^-), \text{ считая, что } c(\text{OH}^-) = a(\text{OH}^-);$$

$$\text{p}(\text{OH}) = -\lg(5,9 \cdot 10^{-5}) = 4,22;$$

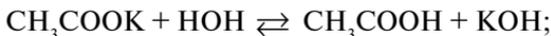
$$\text{pH} + \text{pOH} = 14 \quad (t = 25 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$\text{pH} = 14 - 4,22 = 9,78.$$

*Ответ:* pH = 9,78.

**41.** Определите pH раствора, константу и степень гидролиза ацетата калия, если концентрация  $c(\text{CH}_3\text{COOK}) = 0,1$  моль/л, а  $K_a(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1,8 \cdot 10^{-5}$ .

**Решение.**



$$h = \sqrt{\frac{K_w}{K_a \cdot c_c}},$$

где  $h$  — степень гидролиза;

$K_w$  — константа автопротолиза воды, равная при 25 °С  $1 \cdot 10^{-14}$ ;

$K_a$  — константа ионизации кислоты;

$c_c$  — концентрация соли.

$$h = \sqrt{\frac{10^{-14}}{1,8 \cdot 10^{-5} \cdot 1 \cdot 10^{-1}}} = 7,5 \cdot 10^{-5}.$$

$$\text{Константа гидролиза } K_r = \frac{K_w}{K_a} = \frac{10^{-14}}{1,8 \cdot 10^{-5}} = 5,6 \cdot 10^{-10};$$

$$[\text{OH}^-] = h \cdot c_c = 7,5 \cdot 10^{-5} \cdot 1 \cdot 10^{-1} = 7,5 \cdot 10^{-6} \text{ моль/л};$$

$$\text{pOH} = -\lg c(\text{OH}^-) = -\lg 7,5 \cdot 10^{-6} = 5,12.$$

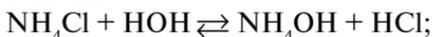
Так как  $\text{pH} + \text{pOH} = 14$  (25 °С), то  $\text{pH} = 14 - \text{pOH}$ ;

$$\text{pH} = 14 - 5,12 = 8,88.$$

*Ответ:* pH раствора ацетата калия равен 8,88; константа гидролиза равна  $5,6 \cdot 10^{-10}$ ; степень гидролиза соли составила  $7,5 \cdot 10^{-5}$ .

**42.** Вычислите pH раствора хлорида аммония с концентрацией соли  $c(\text{NH}_4\text{Cl}) = 0,01$  моль/л.

**Решение.**



Для расчета pH растворов солей, гидролизующихся по катиону, используется формула:

$$\text{pH} = 7 + \frac{1}{2} \lg K_{\text{осн.}} - \frac{1}{2} \lg c_c,$$

где  $K_{\text{осн.}}$  — константа диссоциации основания (справочная величина);  $c_c$  — молярная концентрация соли.

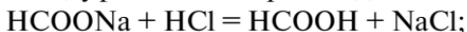
$$\text{pH} = 7 + \frac{1}{2} \lg(1,74 \cdot 10^{-5}) - \frac{1}{2} \lg(1 \cdot 10^{-2}) = 5,62.$$

*Ответ:* pH 0,01M раствора хлорида аммония равен 5,62.

**43.** К 10 мл 0,1 М раствора формиата натрия прибавили 5 мл 0,05 М раствора соляной кислоты. Обладает ли полученный раствор буферным действием?

**Решение.**

Между реагентами происходит взаимодействие:



$$n(\text{HCOONa}) = c \cdot V = 0,1 \text{ моль/л} \cdot 0,01 \text{ л} = 0,001 \text{ моль};$$

$$n(\text{HCl}) = 0,05 \text{ моль/л} \cdot 0,005 \text{ л} = 0,00025 \text{ моль}.$$

Из полученных данных видно, что соляная кислота израсходована полностью и раствор содержит 0,001 – 0,00025 = 0,00075 моль формиата натрия и столько же (по уравнению) муравьиной кислоты.

Таким образом, раствор содержит слабую кислоту и соль, образованную этой слабой кислотой и сильным основанием, что придает ему буферные свойства.

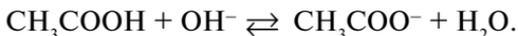
*Ответ:* данный раствор обладает буферными свойствами.

**44.** Как изменится рН, если к ацетатному буферному раствору, состоящему из 100 мл кислоты и 100 мл раствора соли, с концентрацией компонентов по 0,1 моль/л, прибавить 10 мл раствора с концентрацией гидроксида натрия 0,1 моль/л?  $pK_a = 4,76$ .

**Решение.**

Ацетатный буфер состоит из уксусной кислоты и соли – ацетата натрия, т.е. сопряженной пары:  $\text{CH}_3\text{COOH}/\text{CH}_3\text{COO}^-$ .

При добавлении сильного основания положение равновесия в растворе  $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}_3\text{O}^+$  будет сдвинуто вправо, так как уксусная кислота будет взаимодействовать с добавленными гидроксид-ионами:



Количество израсходованной кислоты равно количеству добавленной щелочи, а количество ацетат-ионов (соли), соответ-

ственно, на эту же величину возрастает; в связи с этим уравнение Гендерссона–Гассельбаха принимает вид:

$$\begin{aligned} \text{pH} &= \text{p}K(\text{CH}_3\text{COOH}) + \\ &+ \lg \frac{c(\text{соли}) \cdot V(\text{соли}) + c(\text{NaOH}) \cdot V(\text{NaOH})}{c(\text{к-ты}) \cdot V(\text{к-ты}) - c(\text{NaOH}) \cdot V(\text{NaOH})} = \\ &= 4,76 + \lg \frac{0,1 \cdot 100 \cdot 10^{-3} + 0,1 \cdot 10 \cdot 10^{-3}}{0,1 \cdot 100 \cdot 10^{-3} - 0,1 \cdot 10 \cdot 10^{-3}} = 4,85; \end{aligned}$$

$$\Delta \text{pH} = 4,85 - 4,76 = 0,09.$$

Этот результат демонстрирует возможность буферной системы достаточно стойко сохранять постоянство pH.

*Ответ:* pH изменится на 0,09 ед.

**45.** Рассчитайте pH ацетатного буферного раствора, приготовленного из 80 мл 0,1 н. раствора  $\text{CH}_3\text{COOH}$  и 20 мл 0,1 н. раствора  $\text{CH}_3\text{COONa}$ .  $K_{\text{д}}(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1,74 \cdot 10^{-5}$ .

**Решение.**

Расчет pH буферных растворов производится по уравнению Гендерсона–Гассельбаха:

$$\text{pH} = \text{p}K_{\text{к-ты}} + \lg \frac{[\text{соль}]}{[\text{кислота}]}, \quad \text{где } \text{p}K = -\lg K_{\text{д}};$$

$$\text{pH} = 4,76 + \lg \frac{20 \cdot 10^{-3} \text{ л} \cdot 0,1 \text{ моль/л}}{80 \cdot 10^{-3} \text{ л} \cdot 0,1 \text{ моль/л}} = 4,16.$$

*Ответ:* pH ацетатного буферного раствора 4,16.

**46.** Рассчитайте значение pH аммиачного буфера, в 1 л которого содержится 0,1 моль аммиака и 0,2 моль нитрата аммония  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ . Константа основности аммиака  $K_{\text{б}} = 1,76 \cdot 10^{-5}$ .

**Решение.**

$$\text{pH} = 14 + \lg K_a + \lg \frac{c(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) \cdot V(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O})}{c(\text{NH}_4\text{NO}_3) \cdot V(\text{NH}_4\text{NO}_3)};$$

$$\text{pH} = 14 + \lg 1,76 \cdot 10^{-5} + \lg \frac{0,1 \cdot 1}{0,2 \cdot 1} = 8,94.$$

*Ответ:* pH = 8,94.

**47.** Рассчитайте объемы 0,1М раствора гидрофосфата и 0,05 М раствора дигидрофосфата натрия, которые нужно взять для приготовления 1,5 л буферного раствора с pH = 7,4.  $\text{p}K_a(\text{H}_2\text{PO}_4^-) = 7,21$ .

**Решение.**

$$\text{pH} = \text{p}K_a(\text{H}_2\text{PO}_4^-) + \lg \frac{c(\text{Na}_2\text{HPO}_4) \cdot V(\text{Na}_2\text{HPO}_4)}{c(\text{NaH}_2\text{PO}_4) \cdot V(\text{NaH}_2\text{PO}_4)}.$$

После арифметических преобразований получаем:

$$\lg \frac{V(\text{Na}_2\text{HPO}_4)}{V(\text{NaH}_2\text{PO}_4)} = \text{pH} - \text{p}K_a(\text{H}_2\text{PO}_4^-) - \lg \frac{c(\text{Na}_2\text{HPO}_4)}{c(\text{NaH}_2\text{PO}_4)};$$

$$\lg \frac{V(\text{Na}_2\text{HPO}_4)}{V(\text{NaH}_2\text{PO}_4)} = 7,4 - 7,21 - \lg \frac{0,1}{0,05} = -0,111;$$

$$\frac{V(\text{Na}_2\text{HPO}_4)}{V(\text{NaH}_2\text{PO}_4)} = 10^{-0,111} = 0,774;$$

$$\frac{1,5 - V(\text{NaH}_2\text{PO}_4)}{V(\text{NaH}_2\text{PO}_4)} = 0,774, \text{ отсюда}$$

$$V(\text{NaH}_2\text{PO}_4) = 0,846 \text{ л};$$

$$V(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 1,5 - 0,846 = 0,654 \text{ л}.$$

*Ответ:*  $V(\text{NaH}_2\text{PO}_4) = 0,846$  л;  $V(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 0,654$  л.

**48.** В каком соотношении находятся исходные компоненты фосфатной и бикарбонатной буферных систем в плазме крови при  $pH = 7,36$ , если для плазмы  $pK(H_2PO_4^-) = 6,8$ ;  $pK(H_2CO_3) = 6,1$ .

**Решение.**

$$pH(H_2PO_4^-/H_2PO_4^{2-}) = pK(HPO_4^-) + \lg \frac{[HPO_4^{2-}]}{[H_2PO_4^-]};$$

$$pH(H_2CO_3/H_2CO_3^-) = pK(HCO_3^-) + \lg \frac{[HCO_3^-]}{[H_2CO_3]};$$

$$\lg \frac{[HPO_4^{2-}]}{[H_2PO_4^-]} = 7,36 - 6,8 = 0,56; \quad \frac{[HPO_4^{2-}]}{[H_2PO_4^-]} = 3,63;$$

$$\lg \frac{[HCO_3^-]}{[H_2CO_3]} = 7,36 - 6,1 = 1,26; \quad \frac{[HCO_3^-]}{[H_2CO_3]} = 18,2.$$

И в фосфатной, и в бикарбонатной буферных системах сопряженных оснований больше, чем кислот, что необходимо для живых организмов, в результате метаболизма которых образуется значительно больше кислот, чем оснований.

*Ответ:* исходные компоненты фосфатной и бикарбонатной буферных систем (основание : кислота) находятся соответственно в соотношениях: 3,63 : 1 и 18,2 : 1.

**49.** К 100 мл крови для изменения  $pH$  от 7,36 до 7,00 надо добавить 3,6 мл соляной кислоты с концентрацией 0,1 моль/л. Какова буферная емкость крови по кислоте?

**Решение.**

Буферная емкость ( $B$ ) определяется числом моль эквивалентов сильной кислоты или щелочи, которое надо добавить к 1 л буферного раствора, чтобы изменить его  $pH$  на единицу:

$$B_a = \frac{n_{\text{экр.к-ты}}}{\Delta pH \cdot V_{\text{р-ра}} (\text{л})}; \quad f_{\text{экр.}}(HCl) = 1, \text{ поэтому:}$$

$$n(\text{HCl}) = n_{\text{экв}}(\text{HCl}) = 0,1 \text{ моль/л} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3} \text{ л} = 3,6 \cdot 10^{-4} \text{ моль}$$

$$B_a = \frac{3,6 \cdot 10^{-4} \text{ моль}}{0,36 \cdot 0,1 \text{ л}} = 0,01 \text{ моль/л.}$$

*Ответ:* буферная емкость по кислоте составляет 0,01 моль/л.

**50.** Вычислите растворимость ( $s$ ) сульфата бария, если константа растворимости  $K_s(\text{BaSO}_4) = 1,1 \cdot 10^{-10}$ .

**Решение.**

Для бинарных электролитов  $K_s = s^2$ ,

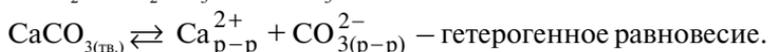
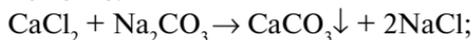
где  $s$  — молярная концентрация насыщенного раствора;

$$s(\text{BaSO}_4) = \sqrt{K_s(\text{BaSO}_4)} = \sqrt{1,1 \cdot 10^{-10}} = 1,05 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л.}$$

*Ответ:* растворимость сульфата бария составляет  $1,05 \cdot 10^{-5}$  моль/л.

**51.** Смешали два раствора:  $\text{CaCl}_2$  и  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Концентрация солей в каждом растворе равна 0,001 моль/л. Объемы смешиваемых растворов равны между собой. Образуется ли осадок при сливании данных растворов?

**Решение.**



Условием образования осадка является соотношение  $\Pi_c > K_s$ , где  $\Pi_c$  — произведение концентраций ионов малорастворимого электролита, а  $K_s$  — константа растворимости (справочная величина).

$$K_s(\text{CaCO}_3) = 3,8 \cdot 10^{-9};$$

$$\Pi_c = \frac{0,001}{2} \cdot \frac{0,001}{2} = 2,5 \cdot 10^{-7}.$$

*Ответ:* так как  $\Pi_c > K_s$ , то осадок  $\text{CaCO}_3$  образуется.

**52.** Вычислите массу серебра, содержащегося в виде ионов в насыщенном водном растворе цианида серебра объемом 500 мл.

**Решение.**

Гетерогенное равновесие:  $\text{AgCN}_{\text{тв}} \rightleftharpoons \text{Ag}_{\text{р-р}}^+ + \text{CN}_{\text{р-р}}^-$ .

$K_s(\text{AgCN}) = 1,4 \cdot 10^{-16}$  (справочная величина).

Так как  $\text{AgCN}$  — бинарный электролит, то

$K_s = s^2$ , где  $s$  — молярная концентрация насыщенного раствора,

$$s(\text{AgCN}) = \sqrt{K_s} = \sqrt{1,4 \cdot 10^{-16}} = 1,18 \cdot 10^{-8} \text{ моль/л};$$

$$s = c(\text{AgCN}), \text{ а } [\text{Ag}^+] = \frac{m(\text{Ag}^+)}{M(\text{Ag}^+) \cdot V_{\text{р-ра}} (\text{л})};$$

$$m(\text{Ag}^+) = [\text{Ag}^+] \cdot M(\text{Ag}^+) \cdot V_{\text{р-ра}} = 1,18 \cdot 10^{-8} \cdot 108 \cdot 0,5 = \\ = 6,37 \cdot 10^{-7} \text{ г.}$$

*Ответ:* масса ионов серебра равна  $6,37 \cdot 10^{-7}$  г.

**53.** Молярная растворимость  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  в воде при некоторой температуре равна  $1,8 \cdot 10^{-4}$  моль/л. Вычислите  $K_s$  для  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ .

**Решение.**

$\text{Mg}(\text{OH})_2$  — трехионный электролит:

$\text{Mg}(\text{OH})_2(\text{тв}) \rightleftharpoons \text{Mg}_{\text{р-р}}^{2+} + 2\text{OH}_{\text{р-р}}^-$ , для которых  $K_s = 4s^3$ .

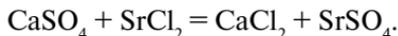
Следовательно,  $K_s(\text{Mg}(\text{OH})_2) = 4 \cdot (1,8 \cdot 10^{-4})^3 = 2,33 \cdot 10^{-11}$ .

*Ответ:*  $K_s(\text{Mg}(\text{OH})_2) = 2,33 \cdot 10^{-11}$ .

**54.** Образуется ли осадок при смешивании насыщенного раствора сульфата кальция с равным объемом раствора с концентрацией хлорида стронция 0,001 моль/л?

**Решение.**

При смешивании растворов может происходить реакция:



Термодинамическим условием образования осадка сульфата стронция является  $c(\text{Sr}^{2+}) \cdot c(\text{SO}_4^{2-}) > K_s(\text{SrSO}_4)$ .

Так как раствор сульфата кальция насыщенный, то

$$K_s(\text{CaSO}_4) = [\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{SO}_4^{2-}]; [\text{Ca}^{2+}] = [\text{SO}_4^{2-}] = s,$$

следовательно,  $K_s(\text{CaSO}_4) = s^2$ .

Значение  $K_s(\text{CaSO}_4)$  находим по справочнику,

$$K_s(\text{CaSO}_4) = 2,5 \cdot 10^{-5}.$$

$$[\text{SO}_4^{2-}] = \sqrt{K_s} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л.}$$

Для прогнозирования возможности образования осадка необходимо рассчитать произведение концентраций ( $P_c$ ) ионов  $\text{Sr}^{2+}$  и  $\text{SO}_4^{2-}$ , учитывая, что при смешивании равных объемов растворов концентрация ионов уменьшается в два раза.

$$P_c = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{2} \cdot \frac{10^{-3}}{2} = 1,25 \cdot 10^{-6};$$

$K_s(\text{SrSO}_4) = 3,2 \cdot 10^{-7}$  (справочная величина). Сравнивая  $P_c$  и  $K_s(\text{SrSO}_4)$ , видим, что  $P_c > K_s(\text{SrSO}_4)$ , следовательно, осадок сульфата стронция образуется.

*Ответ:* осадок сульфата стронция образуется.

**55.** Какой осадок будет образовываться в первую очередь при приливании 0,1 М раствора ацетата свинца к раствору смеси сульфата и хромата натрия?

**Решение.**

Возможно протекание следующих реакций:



Используя справочные данные, рассчитаем концентрации ионов свинца, необходимые для образования сульфата (1) и хромата (2) свинца:

$$c_1(\text{Pb}^{2+}) = \sqrt{K_s(\text{PbSO}_4)} = \sqrt{1,6 \cdot 10^{-8}} = 1,26 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л}; \quad (1)$$

$$c_2(\text{Pb}^{2+}) = \sqrt{K_s(\text{PbCrO}_4)} = \sqrt{1,8 \cdot 10^{-14}} = 1,34 \cdot 10^{-7} \text{ моль/л}. \quad (2)$$

Так как величина  $K_s(\text{PbCrO}_4)$  достигается при меньшей концентрации ионов свинца в растворе, то хромат свинца будет образовываться в первую очередь.

*Ответ:* хромат свинца.

**56.** Какие процессы будут происходить в растворе, содержащем равное количество ионов  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{I}^-$ , при добавлении к нему катиона  $\text{Ag}^+$ ?

**Решение.**

В растворе будут последовательно образовываться осадки.

Так как:

$$K_s(\text{AgI}) = 8,3 \cdot 10^{-17} < K_s(\text{AgBr}) = 5,0 \cdot 10^{-13} < K_s(\text{AgCl}) = 1,8 \cdot 10^{-10},$$

то первым выпадает осадок  $\text{Ag}^+ + \text{I}^- \rightarrow \text{AgI} \downarrow$ ,

затем  $\text{Ag}^+ + \text{Br}^- \rightarrow \text{AgBr} \downarrow$

и последним  $\text{Ag}^+ + \text{Cl}^- \rightarrow \text{AgCl} \downarrow$ .

*Ответ:* конкуренцию за общий ион выигрывает тот малорастворимый электролит, который более прочно связывается (меньшее значение  $K_s$ ) ионом осадителя.

**57.** В растворе содержатся ионы  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Sr}^{2+}$ . Что произойдет, если к раствору добавить сульфат-ионы? Как называется это явление и какова его биологическая роль?

**Решение.**



Так как  $K_s(\text{SrSO}_4) = 3,2 \cdot 10^{-7} < K_s(\text{CaSO}_4) = 2,5 \cdot 10^{-5}$ , то в конкуренции выигрывает процесс (2). Данное явление – конкурирующие гетерогенные процессы. При попадании стронция в орга-

низм человека он вытесняет кальций из его соединений в костях, развивается «стронциевый» рахит.

*Ответ:* в первую очередь образуется сульфат стронция.

**58.** Вычислите растворимость  $\text{AgCl}$ : а) в дистиллированной воде; б) в 0,01 М растворе  $\text{KCl}$ .

**Решение.**



$$\text{а) } s = \sqrt{K_s(\text{AgCl})} = \sqrt{1,78 \cdot 10^{-10}} = 1,33 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л;}$$

б) если к насыщенному раствору малорастворимого электролита добавить раствор другого электролита, содержащий одноименный ион, то, согласно принципу Ле-Шателье,  $V_{\text{крист.}} > V_{\text{раствор}}$ , поэтому растворимость уменьшается. При добавлении к раствору  $\text{AgCl}$  раствора  $\text{KCl}$  равновесие процесса диссоциации  $\text{AgCl}$  смещается влево, растворимость  $\text{AgCl}$  уменьшается. Так как  $K_s(\text{AgCl}) = [\text{Ag}^+] \cdot [\text{Cl}^-]$  – величина постоянная при данной температуре, то при увеличении концентрации аниона  $\text{Cl}^-$  концентрация ионов  $\text{Ag}^+$  уменьшается, т.е. достигается полнота его осаждения.

В 0,01 М растворе  $\text{KCl}$ :  $[\text{Ag}^+] = s$ ,  $[\text{Cl}^-] = 0,01 + s$ ;

$$K_s(\text{AgCl}) = [\text{Ag}^+][\text{Cl}^-] = s(0,01 + s) = 1,78 \cdot 10^{-10}.$$

Поскольку концентрация  $\text{Cl}^-$  в растворе  $\text{KCl}$  намного больше концентрации  $\text{Cl}^-$  в растворе  $\text{AgCl}$ , то можно допустить, что

$$0,01 + s \approx 0,01, \text{ тогда } K_s = 0,01s = 1,78 \cdot 10^{-10},$$

$$\text{отсюда } s = 1,78 \cdot 10^{-8} \text{ моль/л.}$$

*Ответ:* растворимость  $\text{AgCl}$  в 0,01 М растворе  $\text{KCl}$  уменьшается.

**59.** Укажите степень окисления (с. о.) и координационное число центрального атома металла в комплексном соединении  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ .

**Решение.**

В целом комплексное соединение электронейтрально, заряд внешней сферы равен заряду внутренней сферы, но с противоположным знаком.

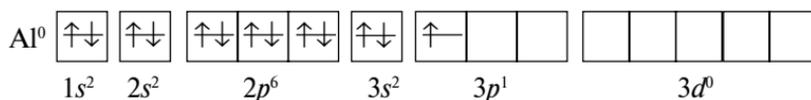
Заряд внешней сферы ( $K_3$ ) =  $(+1) \cdot 3 = +3$ , следовательно, заряд внутренней сферы  $[Fe(CN)_6]$  равен  $-3$ . Лиганд  $CN^-$  — это кислотный остаток кислоты  $HCN$ , его заряд  $-1$ , но так как лигандов 6, то их общий заряд составит  $-6$ . Обозначив заряд (с.о.) комплексообразователя Fe через  $x$ , получим уравнение:  $x + (-6) = -3$ , следовательно, заряд (с.о.) Fe равен  $+3$ .

Координационное число равно числу связей комплексообразователя с лигандами. В данном соединении число лигандов равно числу связей, а следовательно, равно 6.

Ответ: с.о. Fe =  $+3$ , к.ч. = 6.

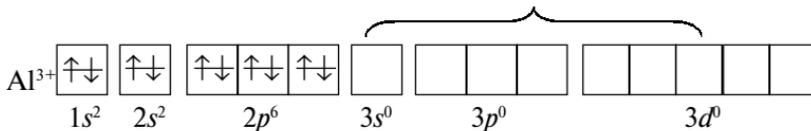
**60.** Какова роль центрального атома в образовании донорно-акцепторной связи? Объясните на примере  $K_3[Al(OH)_6]$ .

**Решение.**



$Al^{3+}$  — акцептор электронных пар (кислота Льюиса),  $OH^-$  — лиганд, донор электронных пар.

$sp^3d^2$ -гибридизация



**61.** Приведите молекулярно-ионные уравнения первичной и вторичной диссоциаций комплексных соединений:  $[Ag(NH_3)_2]Cl$ ,  $[Pt(NH_3)_3Cl]Cl$ .

**Решение.**

$[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl} \rightleftharpoons [\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+ + \text{Cl}^-$  — первичная диссоциация, распад на внешнюю и внутреннюю сферы;

$[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+ \rightleftharpoons \text{Ag}^+ + 2\text{NH}_3$  — вторичная диссоциация, распад внутренней сферы, происходит ступенчато;

$$K_{\text{н}} = \frac{[\text{Ag}^+][\text{NH}_3]^2}{[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+}, \text{ количественно характеризует обратимый}$$

процесс вторичной диссоциации, прочность комплекса: чем меньше  $K_{\text{н}}$ , тем прочнее комплексный ион.

$[\text{Pt}(\text{NH}_3)_3\text{Cl}]\text{Cl} \rightleftharpoons [\text{Pt}(\text{NH}_3)_3\text{Cl}]^+ + \text{Cl}^-$  — первичная диссоциация;

$[\text{Pt}(\text{NH}_3)_3\text{Cl}]^+ \rightleftharpoons \text{Pt}^{2+} + 3\text{NH}_3 + \text{Cl}^-$  — вторичная диссоциация;

$$K_{\text{н}} = \frac{[\text{Pt}^{2+}][\text{NH}_3]^3[\text{Cl}^-]}{[\text{Pt}(\text{NH}_3)_3\text{Cl}]^+}.$$

**62.** Сравните устойчивость комплексных ионов:  $[\text{Ag}(\text{NO}_2)_2]^-$ ,  $[\text{Ag}(\text{CN})_2]^-$ ,  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ ,  $[\text{AgCl}_2]^-$ .

**Решение.**

Устойчивость однотипных комплексных ионов можно сравнить путем сопоставления величин  $K_{\text{н}}$ , взятых из таблицы 14 (см. приложение):

$$K_{\text{н}}[\text{Ag}(\text{NO}_2)_2]^- = 1,3 \cdot 10^{-3}; \quad K_{\text{н}}[\text{Ag}(\text{CN})_2]^- = 8 \cdot 10^{-21};$$

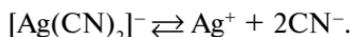
$$K_{\text{н}}[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+ = 5,7 \cdot 10^{-8}; \quad K_{\text{н}}[\text{AgCl}_2]^- = 1,76 \cdot 10^{-5}.$$

*Ответ:* наиболее устойчивым комплексным ионом будет  $[\text{Ag}(\text{CN})_2]^-$ , а наименее устойчивым —  $[\text{Ag}(\text{NO}_2)_2]^-$ .

**63.**  $K_{\text{н}}$  иона  $[\text{Ag}(\text{CN})_2]^- = 1,4 \cdot 10^{-20}$ . Рассчитайте концентрацию ионов серебра в 0,05М растворе  $\text{K}[\text{Ag}(\text{CN})_2]$ , содержащем, кроме того, 0,01 моль/л KCN, если иона  $\text{K}_{\text{н}}[\text{Ag}(\text{CN})_2]^- = 1,4 \cdot 10^{-20}$ .

**Решение.**

Вторичная диссоциация комплексного иона протекает по уравнению:



В присутствии избытка ионов  $\text{CN}^-$ , создаваемого в результате диссоциации  $\text{KCN}$  ( $\alpha = 1$ ), это равновесие смещено влево настолько, что количеством ионов  $\text{CN}^-$ , образовавшихся при вторичной диссоциации, можно пренебречь.

Тогда  $c(\text{CN}^-) = c(\text{KCN}) = 0,01$  моль/л.

Концентрация ионов  $[\text{Ag}(\text{CN})_2]^-$  может быть приравнена к общей концентрации комплексной соли –  $0,05$  моль/л.

$$K_n = \frac{[\text{Ag}^+][\text{CN}^-]^2}{[\text{Ag}(\text{CN})_2^-]} = 1,4 \cdot 10^{-20};$$

$$[\text{Ag}^+] = \frac{K_n[\text{Ag}(\text{CN})_2^-]}{[\text{CN}^-]^2};$$

$$[\text{Ag}^+] = \frac{1,4 \cdot 10^{-20} \cdot 0,05}{(0,01)^2} = 7 \cdot 10^{-18} \text{ моль/л.}$$

*Ответ:*  $c(\text{Ag}^+) = 7 \cdot 10^{-18}$  моль/л.

**64.** Вычислите массу серебра, содержащегося в виде ионов в растворе хлорида диамминсеребра(I) с концентрацией  $0,03$  моль/л объемом  $750$  мл. Раствор содержит аммиак в концентрации  $0,1$  моль/л.

**Решение.**

Вторичная диссоциация комплексного иона протекает по уравнению:



В присутствии избытка ионов  $\text{NH}_3$  количеством ионов  $\text{NH}_3$ , образовавшихся в результате вторичной диссоциации комп-

лексного иона, можно пренебречь, тогда  $[\text{NH}_3] = c(\text{NH}_3) = 0,1$  моль/л.

Концентрация ионов  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$  может быть приравнена к общей концентрации комплексной соли — 0,03 моль/л.

$$K_{\text{н}} = \frac{[\text{Ag}^+][\text{NH}_3]^2}{[(\text{Ag}^+(\text{NH}_3)_2)^+]}; \quad [\text{Ag}^+] = \frac{K_{\text{н}}[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+]^2}{[\text{NH}_3]^2};$$

$$[\text{Ag}^+] = \frac{5,89 \cdot 10^{-8} \cdot 0,03}{0,1^2} = 1,77 \cdot 10^{-7} \text{ моль/л};$$

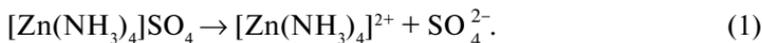
$$m(\text{Ag}^+) = M(\text{Ag}^+) \cdot V \cdot [\text{Ag}^+] = 108 \text{ г/моль} \cdot 0,75 \text{ л} \cdot 1,77 \cdot 10^{-7} \text{ моль/л} = 1,43 \cdot 10^{-5} \text{ г}.$$

*Ответ:*  $m(\text{Ag}^+) = 1,43 \cdot 10^{-5} \text{ г}.$

**65.** Определите степень диссоциации и концентрацию ионов и молекул в 0,1 М растворе  $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ .

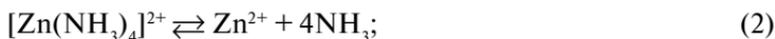
**Решение.**

Первичная диссоциация соли протекает по уравнению:



Поэтому  $c([\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}) = 0,1$  моль/л,  $c(\text{SO}_4^{2-}) = 0,1$  моль/л.

Вторичная диссоциация протекает по уравнению:



$$K_{\text{н}} = \frac{[\text{Zn}^{2+}][\text{NH}_3]^4}{[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}} = 8,3 \cdot 10^{-12}.$$

Из уравнения (2) следует, что  $[\text{NH}_3] = 4[\text{Zn}^{2+}]$ .

Обозначив  $[\text{Zn}^{2+}] = x$  моль/л, получим:

$$K_{\text{н}} = \frac{x \cdot (4x)^4}{(0,1 - x)}.$$

Так как значение  $K_{\text{н}}$  невелико, то можно принять  $(0,1 - x) \approx 0,1$ ,

тогда имеем:  $\frac{x \cdot (4x)^4}{0,1} = 8,3 \cdot 10^{-12}.$

Решая уравнение, получаем  $x = 1,26 \cdot 10^{-3}$  моль/л.

Степень диссоциации комплексного иона:

$$\alpha = \frac{c_{\text{продис.}}[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4^{2+}]}{c_{\text{исх.}}[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4^{2+}]}; \quad \alpha = \frac{1,26 \cdot 10^{-3}}{0,1} = 0,0126 = 1,26\%.$$

Ответ:  $\alpha = 1,26\%$ .

**66.** Можно ли растворить 0,5 моль AgI в 1 л раствора аммиака с конечной концентрацией  $\text{NH}_3$ , равной 1 моль/л?  $K_s(\text{AgI}) = 8,3 \cdot 10^{-17}$ ,  $K_n([\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+) = 5,9 \cdot 10^{-8}$ .

**Решение.**

Растворение AgI может быть связано с образованием комплексного иона  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ , при этом его концентрация при полном растворении должна быть 0,5 моль/л. Обозначим концентрацию  $\text{Ag}^+$  в растворе диаммиаката серебра через  $x$  моль/л,  $c(\text{NH}_3) = 1$  моль/л (по условию). Из формулы

$$K_n = \frac{[\text{Ag}^+][\text{NH}_3]^2}{[(\text{Ag}(\text{NH}_3)_2)^+]} \text{ находим } x:$$

$$5,9 \cdot 10^{-8} = \frac{x \cdot 1^2}{0,5}, \quad x = 2,95 \cdot 10^{-8} \text{ моль/л}; \quad c(\text{Ag}^+) = 2,95 \cdot 10^{-8} \text{ М.}$$

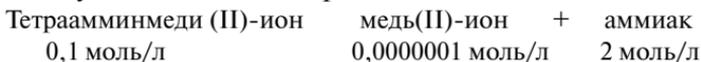
В насыщенном растворе AgI концентрация ионов серебра

$$c(\text{Ag}^+) = \sqrt{K_s} = \sqrt{83 \cdot 10^{-18}} = 9,1 \cdot 10^{-9} \text{ моль/л.}$$

Так как  $2,95 \cdot 10^{-8} > 9,1 \cdot 10^{-9}$ , то растворение AgI в растворе аммиака не произойдет.

Ответ: растворить йодид серебра в растворе аммиака при указанных условиях нельзя.

**67** В каком направлении пойдет реакция, если смешать реагенты в указанных концентрациях?



**Решение.**

Для ответа на вопрос задачи надо воспользоваться уравнением изотермы химической реакции:  $\Delta G = -RT \ln K_n + RT \ln \Pi_c$ , т.е. вычислить  $\Pi_c$  и сравнить его с табличным значением константы. Поскольку записанный процесс представляет собой полную диссоциацию комплексного иона,  $\Pi_c$  надо сравнить с константой нестойкости тетраамминмеди(II).

В случае  $\Pi_c < K_n$  пойдет прямой процесс, т.е. положение равновесия сместится вправо; в случае  $\Pi_c > K_n$  — влево.

$$\Pi_c = \frac{c(\text{Cu}^{2+}) \cdot c^4(\text{NH}_3)}{c[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}} = \frac{0,0000001 \cdot 2^4}{0,1} = 1,6 \cdot 10^{-5}.$$

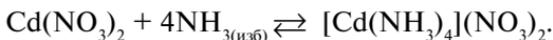
Табличное значение константы нестойкости иона  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$  равно  $1,1 \cdot 10^{-12}$ .

*Ответ:* поскольку  $\Pi_c > K_n$ , положение равновесия сместится влево.

**68.** Во сколько раз уменьшится концентрация ионов кадмия в растворе нитрата кадмия с концентрацией 0,15 моль/л после введения избытка аммиака? После завершения реакции концентрация аммиака составила 0,1 моль/л.

**Решение.**

Нитрат кадмия — сильный электролит, диссоциирует в растворе на ионы. При введении избытка аммиака образуется комплексное соединение:



$$K_n = \frac{[\text{Cd}^{2+}] \cdot [\text{NH}_3]^4}{[\text{Cd}(\text{NH}_3)_4]^{2+}} = 2,8 \cdot 10^{-7} \text{ (справочная величина).}$$

По условию ионы кадмия связаны в комплекс, а молекулы аммиака — в избытке. Комплексный ион достаточно прочный, диссоциирует в незначительном количестве, поэтому концентрацией аммиака, образующегося при диссоциации комплексного иона, можно пренебречь, учитывая, что он в избытке. По

уравнению концентрация  $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_4^{2+}]$  равна концентрации соли нитрата кадмия.

Из выражения константы нестойкости найдем концентрацию ионов кадмия, перешедших в раствор за счет диссоциации комплексного иона:

$$[\text{Cd}^{2+}] = \frac{K_{\text{н}} \cdot [\text{Cd}(\text{NH}_3)_4^{2+}]}{[\text{NH}_3]^4} = \frac{2,8 \cdot 10^{-7} \cdot 0,15}{0,1^4} = 0,42 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л.}$$

Уменьшение концентрации ионов кадмия в связи с комплексобразованием произошло в  $\frac{0,15}{0,42 \cdot 10^{-4}} = 3571$  раз.

*Ответ:* концентрация ионов кадмия в растворе уменьшилась в 3571 раз.

**69.** Выберите наиболее прочное комплексное соединение из соединений  $\text{Fe}^{2+}$  с библигандами: глицином (1), гистидином (2), лизином (3).

**Решение.**

Прочность комплекса характеризуется величиной  $K_{\text{н}}$ : чем меньше константа нестойкости, тем более прочный комплекс.

Из справочника:

$$K_{\text{н}1} = 1,58 \cdot 10^{-8}; K_{\text{н}2} = 5,01 \cdot 10^{-10}; K_{\text{н}3} = 3,16 \cdot 10^{-5}.$$

*Ответ:* так как  $K_{\text{н}1} < K_{\text{н}2} < K_{\text{н}3}$ , то самое прочное комплексное соединение  $\text{Fe}^{2+}$  — с гистидином.

**70.** Вычислите концентрацию иона цинка  $\text{Zn}^{2+}$  в растворе  $\text{Na}_2[\text{Zn}(\text{CN})_4]$  с концентрацией 0,3 моль/л при избытке цианид-ионов, равном 0,01 моль/л.

**Решение.**

Вторичная диссоциация комплексного иона протекает по уравнению:  $[\text{Zn}(\text{CN})_4]^{2-} \rightleftharpoons \text{Zn}^{2+} + 4\text{CN}^-$ ;

$$K_n = \frac{[\text{Zn}^{2+}] \cdot [\text{CN}^-]^4}{[\text{Zn}(\text{CN})_4^{2-}]^2} = 1,74 \cdot 10^{-17} \text{ (справочная величина).}$$

$$[\text{Zn}^{2+}] = \frac{K_n \cdot [\text{Zn}(\text{CN})_4^{2-}]^2}{[\text{CN}^-]^4} = \frac{1,74 \cdot 10^{-17} \cdot 0,3}{(0,01)^4} = 5,2 \cdot 10^{-10} \text{ моль/л.}$$

*Ответ:* концентрация иона  $\text{Zn}^{2+}$  в растворе тетрацианоцинката(II) натрия составляет  $5,2 \cdot 10^{-10}$  моль/л.

**71.** Выпадет ли осадок галогенида серебра при прибавлении к 1 л 0,1 М раствора  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{NO}_3$ , содержащего 1 моль аммиака: а)  $1 \cdot 10^{-5}$  моль  $\text{KBr}$ ; б)  $1 \cdot 10^{-5}$  моль  $\text{KI}$ ?

**Решение.**

Для решения вопроса о возможности разрушения комплексного иона за счет связывания комплексообразователя в малорастворимую соль необходимо оценить значения равновесных концентраций ионов в рассматриваемой системе.

$$\text{а) } K_n[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+ = 5,9 \cdot 10^{-8}; K_s(\text{AgBr}) = 5,3 \cdot 10^{-13};$$

$$K_s(\text{AgI}) = 8,3 \cdot 10^{-17}.$$

$$K_n = \frac{[\text{Ag}^+][\text{NH}_3]^2}{[(\text{Ag}(\text{NH}_3)_2)^+]}$$

Условно можно принять, что  $[\text{NH}_3] \approx c(\text{NH}_3) = 1$  моль/л,  $[(\text{Ag}(\text{NH}_3)_2)^+] \approx c([\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{NO}_3) = 0,1$  моль/л. Концентрация ионов  $\text{Ag}^+$  равна:

$$[\text{Ag}^+] = \frac{K_n \cdot [(\text{Ag}(\text{NH}_3)_2)^+]}{[\text{NH}_3]^2} = \frac{5,9 \cdot 10^{-8} \cdot 0,1}{1^2} = 5,9 \cdot 10^{-9} \text{ моль/л};$$

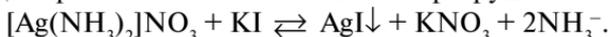
$$[\text{Br}^-] = \frac{K_s \cdot (\text{AgBr})}{[\text{Ag}^+]} = \frac{5,3 \cdot 10^{-13}}{5,9 \cdot 10^{-9}} = 8,98 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л.}$$

Так как необходимая для осаждения  $\text{AgBr}$  концентрация ионов  $\text{Br}^-$  больше добавляемой в составе  $\text{KBr}$ , то реакция в данном случае протекать не будет;

б) концентрация ионов  $I^-$ , достаточная для осаждения  $AgI$ , равна:

$$[I^-] = \frac{K_s(AgI)}{[Ag^+]} = \frac{8,3 \cdot 10^{-17}}{5,9 \cdot 10^{-9}} = 1,41 \cdot 10^{-8} \text{ моль/л.}$$

Так как необходимая для осаждения  $AgI$  концентрация  $I^-$  меньше добавляемой в составе  $KI$ , то реакция в данном случае будет протекать и комплексный ион разрушается:



Ответ: а) осадок не выпадает; б) осадок выпадает.

**72.** Может ли уксусная кислота разрушить комплекс  $[Ag(NH_3)_2]Cl$ ?

**Решение.**

Запишем уравнения реакций:

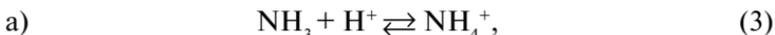


Константа этой реакции равна:  $K_1 = K_n([Ag(NH_3)_2]^+) = 5,9 \cdot 10^{-8}$ .



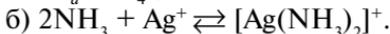
Константа этой реакции равна:  $K_2 = K_a(CH_3COOH) = 1,74 \cdot 10^{-5}$ .

Конкурируют два процесса: лигандообменный и протолитический. Объектом конкуренции является аммиак:

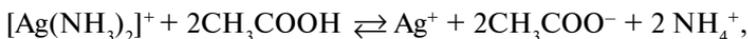


эта реакция характеризуется  $K_3 = 1/K_a(NH_4^+)$ ,

где  $K_a(NH_4^+) = 5,75 \cdot 10^{-10}$ ;



Складывая уравнение реакции (1) с уравнениями (2) и (3), коэффициенты которых удвоены, получим суммарную реакцию:



константа равновесия которой равна:  $K = K_1 \cdot K_2^2 \cdot K_3^2$ .

$$K = \frac{K_n \cdot K_a^2(CH_3COOH)}{K_a^2(NH_4^+)} = \frac{5,9 \cdot 10^{-8} (1,74 \cdot 10^{-5})^2}{(5,75 \cdot 10^{-10})^2} = 54.$$

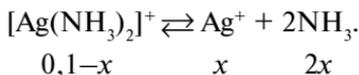
Полученный результат ( $K > 1$ ) свидетельствует о том, что при с.у. произойдет разрушение комплекса уксусной кислотой, равновесие суммарной реакции сдвинуто вправо.

*Ответ:* может.

**73.** Можно ли разрушить комплекс  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ , концентрация которого в растворе составляет 0,1 моль/л, добавлением раствора KCl равного объема и равной концентрации? Увеличение объема при сливании исходных растворов можно не учитывать.

**Решение.**

Пусть концентрация ионов серебра равна  $x$ , тогда:



Диссоциация комплексного иона не велика, поэтому разность  $(0,1 - x)$  можно принять равной 0,1.

$$K_{\text{н}} = \frac{[\text{Ag}^+] \cdot [\text{NH}_3]^2}{[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+]} = \frac{x \cdot (2x)^2}{0,1} = 5,9 \cdot 10^{-8},$$

$$\text{отсюда } 4x^3 = 0,59 \cdot 10^{-8},$$

$$x = 1,22 \cdot 10^{-3}.$$

$$K_{\text{s}}(\text{AgCl}) = 1,78 \cdot 10^{-10}, \quad \Pi_{\text{с}} = 1,22 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1 = 1,22 \cdot 10^{-4}.$$

Таким образом,  $\Pi_{\text{с}} > K_{\text{s}}$ , а следовательно, комплекс в отсутствие избытка аммиака ионами хлора разрушается.

*Ответ:* можно.

**74.** В каком направлении данная ОВР протекает самопроизвольно при с.у.:  $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{HCl} \rightleftharpoons \text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ ? Рассчитать ЭДС этой реакции, если  $\varphi^\circ(\text{Cl}_2/2\text{Cl}^-) = 1,36 \text{ В}$ ;  $\varphi^\circ(\text{SO}_4^{2-}/\text{SO}_3^{2-}) = 0,22 \text{ В}$ .

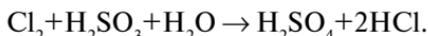
**Решение.**

Окисленная форма ОВ-пары ( $\text{Cl}_2 + 2\bar{e} \rightarrow 2\text{Cl}^-$ ), имеющей большее положительное значение потенциала, является окис-

лителем, а восстановленная форма ОВ-пары ( $\text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightarrow \text{SO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O}$ ), имеющей меньшее значение потенциала, – восстановителем.

Следовательно,  $\text{Cl}_2$  – окислитель, а  $\text{SO}_3^{2-}$  – восстановитель.

При с.у. самопроизвольно идет реакция:

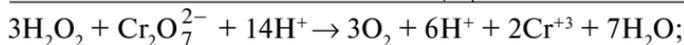
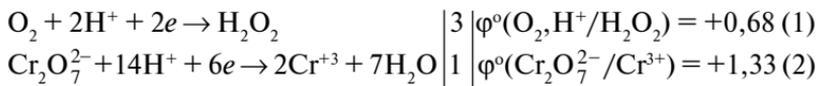
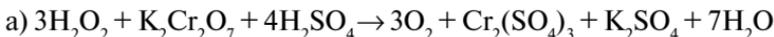


ЭДС реакции:  $E = \varphi(\text{ок-ля}) - \varphi(\text{вос-ля}) = 1,36 - 0,22 = 1,14 \text{ В} > 0$ .

*Ответ:* ОВР протекает самопроизвольно при с.у. справа на лево,  $E_{\text{р-ции}} = 1,14 \text{ В}$ .

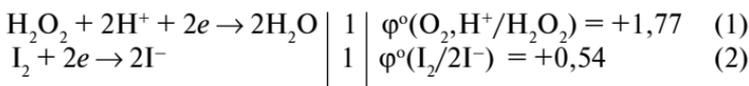
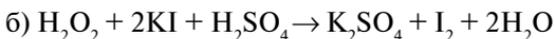
**75.** Сопоставьте окислительно-восстановительные свойства пероксида водорода, которые он проявляет при взаимодействии с  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  и с  $\text{KI}$  в кислой среде. Какие свойства для него более характерны по отношению к данным реагентам?

**Решение:**



т.к.  $\varphi_1^\circ > \varphi_2^\circ$ , следовательно,  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  – окислитель, а  $\text{H}_2\text{O}_2$  – восстановитель.

$$\begin{aligned} E_1^\circ &= \varphi^\circ(\text{ок-ля}) - \varphi^\circ(\text{вос-ля}) = \\ &= \varphi^\circ(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}/\text{Cr}^{3+}) - \varphi^\circ(\text{O}_2, \text{H}^+/\text{H}_2\text{O}_2) = \\ &= 1,33 - 0,68 = 0,65 \text{ В} > 0; \end{aligned}$$



т.к.  $\varphi_1^{\circ} > \varphi_2^{\circ}$ , то  $\text{H}_2\text{O}_2$  – окислитель, а  $\text{KI}$  – восстановитель.

$$E_2^{\circ} = \varphi^{\circ}(\text{ок-ля}) - \varphi^{\circ}(\text{вос-ля}) = \varphi^{\circ}(\text{H}_2\text{O}_2, \text{H}^+/\text{H}_2\text{O}) - \varphi^{\circ}(\text{I}_2/2\text{I}^-) = \\ = 1,77 - 0,54 = 1,23 \text{ В} > 0.$$

Так как  $E_2^{\circ} > E_1^{\circ}$ , то окислительные свойства для  $\text{H}_2\text{O}_2$  более характерны.

*Ответ:*  $\text{H}_2\text{O}_2$  проявляет ОВ-двойственность, но его окислительные свойства более выражены по отношению к данным реагентам в данных условиях.

**76.** Определите, какая из реакций пойдет в первую очередь при добавлении  $\text{Cl}_2$  к смеси  $\text{KBr}$  и  $\text{KI}$ , если  $\varphi^{\circ}(\text{Cl}_2/2\text{Cl}^-) = 1,36 \text{ В}$ ;  $\varphi^{\circ}(\text{Br}_2/2\text{Br}^-) = 1,08 \text{ В}$ ;  $\varphi^{\circ}(\text{I}_2/2\text{I}^-) = 0,54 \text{ В}$ .

**Решение.**



$$E_1 = \varphi^{\circ}(\text{Cl}_2/2\text{Cl}^-) - \varphi^{\circ}(\text{Br}_2/2\text{Br}^-) = 1,36 - 1,08 = +0,28 \text{ В};$$

$$E_2 = \varphi^{\circ}(\text{Cl}_2/2\text{Cl}^-) - \varphi^{\circ}(\text{I}_2/2\text{I}^-) = 1,36 - 0,54 = +0,82 \text{ В}.$$

*Ответ:* так как  $E_2 > E_1$ , в первую очередь пойдет реакция 2.

**77.** Редокс-индикаторы позволяют определить окислительно-восстановительный потенциал веществ непосредственно в биологических тканях, не разрушая их. Определите, будет ли окрашен крезоловый синий ( $\varphi_r^{\circ} = 0,032 \text{ В}$ ) в биологических системах: а)  $\text{НАД}^+/\text{НАДН} + \text{H}^+$  ( $\varphi_r^{\circ} = -0,32 \text{ В}$ ); б) дегидроаскорбиновая кислота/аскорбиновая кислота ( $\varphi_r^{\circ} = 0,14 \text{ В}$ ).

**Решение.**

Так как окрашена окисленная форма крезолового синего, а восстановленная бесцветна, то, следовательно, биологическая система должна быть окислителем, и ее окислительно-восстановительный потенциал должен быть больше окислительно-восстановительного потенциала редокс-индикатора.

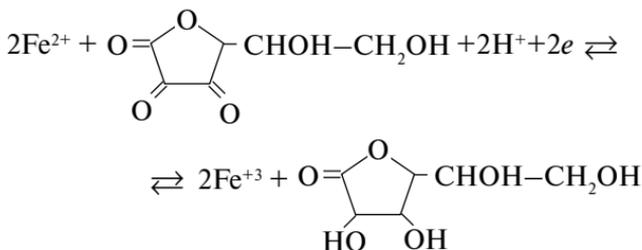
Так как

$\varphi^{\circ}(\text{НАД}^+/\text{НАД}+\text{H}^+) < \varphi^{\circ}(\text{инд.})$ , а  $\varphi^{\circ}(\text{дегидроаск./аск.}) > \varphi^{\circ}(\text{инд.})$ , то в системе  $\text{НАД}^+/\text{НАД}+\text{H}^+$  крезоловый синий не будет окрашен, а в системе дегидроаскорбиновая кислота/аскорбиновая кислота будет окрашен.

*Ответ:* крезоловый синий будет окрашен в системе дегидроаскорбиновая кислота/аскорбиновая кислота.

**78.** В состав лекарственных препаратов, рекомендуемых для лечения железодефицитной анемии, входят соли железа(II), которые легко окисляются даже на воздухе. Определите с помощью расчетов, может ли добавляемая в состав лекарственных препаратов аскорбиновая кислота препятствовать их окислению, если  $\varphi^{\circ}(\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}) = 0,77 \text{ В}$ ,  $\varphi^{\circ}(\text{дегидроаскорб. к-та/аскорб. к-та}) = 0,14 \text{ В}$ .

**Решение.**



$\varphi^{\circ}(\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}) > \varphi^{\circ}(\text{дегидроаскорб. к-та/аскорб. к-та})$ , поэтому окислителем является  $\text{Fe}^{3+}$ , а восстановителем — аскорбиновая кислота.

$$E = \varphi^{\circ}(\text{ок-ля}) - \varphi^{\circ}(\text{вос-ля}) = 0,77 - 0,14 = 0,63 \text{ В.}$$

Следовательно, реакция протекает справа налево.

*Ответ:* аскорбиновая кислота препятствует окислению Fe(II).

**79.** Вычислите окислительно-восстановительный (редокс) потенциал для системы  $\text{Co}^{3+}/\text{Co}^{2+}$ , если  $\varphi^{\circ}(\text{Co}^{3+}/\text{Co}^{2+}) = 1,84 \text{ В}$ ;  $a(\text{Co}^{2+}) = 1 \cdot 10^{-3} \text{ М}$ ,  $a(\text{Co}^{3+}) = 1 \cdot 10^{-2} \text{ М}$ ,  $T = 298 \text{ К}$ .

**Решение.**

По уравнению Нернста–Петерса:

$$\varphi(\text{Co}^{3+}/\text{Co}^{2+}) = \varphi^{\circ}(\text{Co}^{3+}/\text{Co}^{2+}) + \frac{2,3 \cdot R \cdot T}{n \cdot F} \cdot \lg \frac{a(\text{Co}^{3+})}{a(\text{Co}^{2+})};$$

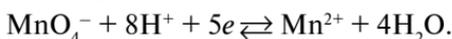
$$\varphi(\text{Co}^{3+}/\text{Co}^{2+}) = 1,84 + \frac{2,3 \cdot 8,31 \cdot 298}{1 \cdot 96500} \cdot \lg \frac{1 \cdot 10^{-2}}{1 \cdot 10^{-3}} = 1,899 \text{ В}.$$

*Ответ:* 1,899 В.

**80.** Рассчитайте редокс-потенциал ОВ-электрода  $\text{Pt}/\text{MnO}_4^-$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  при  $\text{pH} = 5,0$ , если концентрации окисленной и восстановленной форм равны 1 моль/л.  $T = 298 \text{ К}$ .

**Решение.**

Запишем полупреакцию восстановления перманганат-иона в кислой среде:



По уравнению Нернста–Петерса:

$$\begin{aligned} \varphi(\text{MnO}_4^-, \text{H}^+/\text{Mn}^{2+}) &= \\ &= \varphi^{\circ}(\text{MnO}_4^-, \text{H}^+/\text{Mn}^{2+}) + \frac{RT}{5F} \ln \frac{a(\text{MnO}_4^-) \cdot a^8(\text{H}^+)}{a(\text{Mn}^{2+})}. \end{aligned}$$

По условию задачи  $\text{pH} = 5$ , значит,  $a(\text{H}^+) = 10^{-5}$  моль/л,  $\varphi^{\circ}(\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}) = 1,51 \text{ В}$  (справочные данные).

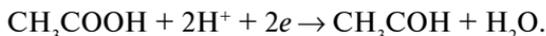
$$\begin{aligned} \varphi(\text{MnO}_4^-, \text{H}^+/\text{Mn}^{2+}) &= 1,51 + \frac{RT}{5F} \ln \frac{1 \cdot (10^{-5})^8}{1} = \\ &= 1,51 + 0,0118 \cdot \lg 10^{-40} = 1,038 \text{ В}. \end{aligned}$$

*Ответ:* при  $\text{pH}=5$   $\varphi(\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}) = 1,038 \text{ В}$ .

**81.** Рассчитайте потенциал, возникающий на платиновом электроде, погруженном в раствор, содержащий уксусную кислоту и уксусный альдегид. Соотношение окисленной и восстановленной форм составляет 1:10. Стандартный (формальный) потенциал данной ОВ-пары при  $\text{pH} = 7$  и  $t = 25^\circ\text{C}$  равен  $-0,581\text{ В}$ .

**Решение.**

Запишем полуреакцию восстановления окисленной формы:



На платиновом электроде, погруженном в раствор, содержащий сопряженную ОВ-пару, возникает потенциал, величина которого зависит от природы ОВ-пары, соотношения активностей окисленной и восстановленной форм и от температуры. Для учета влияния  $\text{pH}$  применяется формальный потенциал, который равен:

$$\varphi_r^\circ = \varphi_r^\circ - \frac{2,3RT}{nF} \text{pH}; \text{ по условию задачи } \varphi_r^\circ = -0,581\text{ В}.$$

Величина восстановительного (редокс) потенциала рассчитывается по уравнению Нернста–Петерса:

$$\begin{aligned} \varphi_r &= \varphi^\circ - \frac{2,3RT}{nF} \text{pH} + \frac{2,3RT}{nF} \lg \frac{a(\text{ок})}{a(\text{восст})} = \\ &= \varphi_r^\circ - 0,059 \text{pH} + \frac{0,059}{2} \lg \frac{a(\text{ок})}{a(\text{восст})} = \\ &= \varphi_r^\circ + \frac{0,059}{2} \lg \frac{a(\text{ок})}{a(\text{восст})} = \\ &= -0,581 + 0,0295 \cdot \lg 0,1 = -0,61\text{ В}. \end{aligned}$$

*Ответ:* на платиновом электроде возникнет потенциал, равный  $-0,61\text{ В}$ .

**82.** Как изменится редокс-потенциал, если концентрация пируват-иона в два раза превысит концентрацию лактат-иона? Рассчитайте редокс-потенциал системы при  $\text{pH} = 6,5$ ;  $T = 298\text{ К}$ .

**Решение.**

Запишем полуреакцию: пируват + 2H<sup>+</sup> + 2e ⇌ лактат.

По уравнению Нернста–Петерса определяем редокс-потенциал до изменения концентрации реагентов и pH:

$$\varphi_r^0 = \varphi^{\circ'} \frac{0,059}{2} \cdot 2\text{pH};$$

$$\varphi_r^0 = \varphi^{\circ'} - 0,059 \cdot \text{pH}, \quad \varphi^{\circ'} = -0,19 \text{ В (справочные данные);}$$

$$\varphi_r^0 = -0,19 - 0,059 \cdot 7 = -0,604 \text{ В.}$$

По условию  $\frac{[\text{пируват}]}{[\text{лактат}]} = 2$ ; pH = 6,5, тогда:

$$\varphi_r = \varphi^{\circ'} + \frac{0,059}{2} \cdot \lg 2 - \frac{0,059}{2} \cdot 2\text{pH};$$

$$\varphi_r = -0,19 + 0,0295 \cdot 0,3 - 0,383 = -0,564 \text{ В;}$$

$$\Delta \varphi_r = -0,564 - (-0,604) = 0,04 \text{ В.}$$

*Ответ:* редокс-потенциал увеличился на 0,04 В.

**83.** Рассчитайте величину потенциала окислительно-восстановительного электрода Pt/Fe<sup>3+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, если активные концентрации FeCl<sub>3</sub> и FeCl<sub>2</sub> равны соответственно 0,05 М и 0,85 М; T = 298 К.

**Решение.**

Окислительно-восстановительный электрод – это система, состоящая из инертного металла (Pt), погруженного в раствор, содержащий одновременно окисленную и восстановленную формы вещества. Потенциал такого электрода зависит от природы ОВ-пары, температуры, соотношения активностей окисленной и восстановленной форм вещества и рассчитывается по уравнению Нернста–Петерса:

$$\varphi(\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}) = \varphi^{\circ}(\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}) + \frac{RT}{nF} \cdot \ln \frac{a(\text{Fe}^{3+})}{a(\text{Fe}^{2+})};$$

$\varphi^{\circ}(\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}) = 0,77 \text{ В}$ , табличные данные;

$n = 1$ , число электронов, участвующих в ОВ-реакции:



$$\varphi(\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}) = 0,77 + \frac{8,31 \cdot 298}{1 \cdot 96500} \cdot \ln \frac{0,05}{0,85} = 0,697 \text{ В}.$$

*Ответ:* потенциал окислительно-восстановительного электрода равен 0,697 В.

**84.** Редокс-потенциал системы ФАД/ФАДН<sub>2</sub> при  $T = 298 \text{ К}$  и  $\text{pH} = 7,0$  равен  $-0,20 \text{ В}$ . Как изменится величина потенциала, если  $\text{pH}$  уменьшить на 0,5 единицы?

**Решение.**

Запишем полуреакцию:  $\text{ФАД} + 2\text{H}^+ + 2e \rightleftharpoons \text{ФАДН}_2$ .

Величина редокс-потенциала определяется по уравнению Нернста–Петерса:

$$\begin{aligned} \varphi_r &= \varphi_r^{\circ} + \frac{0,059}{2} \cdot \lg \frac{[\text{ФАД}] \cdot a^2(\text{H}^+)}{[\text{ФАДН}_2]} = \\ &= \varphi_r^{\circ} + \frac{0,059}{2} \cdot \lg \frac{[\text{ФАД}]}{[\text{ФАДН}_2]} + \frac{0,059}{2} \cdot \lg a^2(\text{H}^+) = \\ &= \varphi_r^{\circ} + \frac{0,059}{2} \cdot \lg \frac{[\text{ФАД}]}{[\text{ФАДН}_2]} - 0,059 \text{pH}. \end{aligned}$$

При  $\text{pH} = 7,0$  формальный потенциал  $\varphi_r^{\circ} = \varphi_r^{\circ} - 0,059 \cdot 7,0$ .

$$\varphi_{r(\text{pH}=7)} = \varphi_r^{\circ} + \frac{0,059}{2} \cdot \lg \frac{[\text{ФАД}]}{[\text{ФАДН}_2]} - 0,059 \cdot 7,0; \quad (1)$$

$$\varphi_{r(\text{pH}=6,5)} = \varphi_r^{\circ} + \frac{0,059}{2} \cdot \lg \frac{[\text{ФАД}]}{[\text{ФАДН}_2]} - 0,059 \cdot 6,5. \quad (2)$$

Определяем изменение потенциала  $\Delta\varphi$ :

$$\varphi_{r2} - \varphi_{r1} = \varphi_r^{\circ} + \frac{0,059}{2} \cdot \lg \frac{[\text{ФАД}]}{[\text{ФАДН}_2]} - 0,059 \cdot 6,5 - \varphi_r^{\circ} -$$

$$- \frac{0,059}{2} \cdot \lg \frac{[\text{ФАД}]}{[\text{ФАДН}_2]} + 0,059 \cdot 7,0 = 0,059 \cdot 7,0 - 0,059 \cdot 6,5 =$$

$$= 0,059(7,0 - 6,5),$$

$$\Delta\varphi = 0,059 \cdot \Delta\text{pH} = 0,059 \cdot 0,5 = 0,0295 \text{ В.}$$

Вычисляем  $\varphi_{r_2}$  при  $\text{pH} = 6,5$ :

$$\varphi_{r_2} = \Delta\varphi + \varphi_{r_1} = 0,0295 + (-0,20) = -0,17 \text{ В.}$$

*Ответ:* при  $\text{pH} = 6,5$  редокс-потенциал равен  $-0,17 \text{ В}$ . При понижении  $\text{pH}$  редокс-потенциал увеличивается.

**85.** Концентрации лактат- и пируват-ионов равны между собой,  $\text{pH} = 7,0$ ,  $T = 298 \text{ К}$ . Как изменится редокс-потенциал при окислении 0,1 части лактат-ионов до пируват-ионов?

**Решение.**

Запишем полуреакцию: пируват +  $2\text{H}^+$  +  $2e \rightleftharpoons$  лактат.

По условию задачи  $[\text{пируват}] = [\text{лактат}]$ ,  $\text{pH} 7,0$ ,  $T = 298 \text{ К}$ , поэтому до процесса окисления  $\varphi_r^o = \varphi_r^o$ ;  $\varphi_r^o = -0,19 \text{ В}$  (справочные данные).

Если принять, что  $[\text{пируват}] = [\text{лактат}] = 1 \text{ М}$ , то при окислении 0,1 части лактат-ионов до пируват-ионов

$$[\text{пируват}] = 1 + 0,1 = 1,1, \text{ а } [\text{лактат}] = 1 - 0,1 = 0,9.$$

Редокс-потенциал системы пируват/лактат определяем по уравнению Нернста—Петерса:

$$\varphi_r = -0,19 + \frac{0,059}{2} \cdot \lg \frac{1,1}{0,9} = -0,1874 \text{ В.}$$

Определяем изменение потенциала  $\Delta\varphi$ :

$$\Delta\varphi = -0,1874 - (-0,19) = 0,0026 \text{ В.}$$

*Ответ:* при окислении 0,1 части лактат-ионов до пируват-ионов редокс-потенциал изменился на  $0,0026 \text{ В}$ .

**86.** Рассчитайте величину диффузионного потенциала при  $t = 25^\circ\text{C}$  на границе 0,01М и 0,1М растворов  $\text{HCl}$ , если подвиж-

ности ионов  $\text{H}^+$  и  $\text{Cl}^-$  соответственно равны  $36,3 \cdot 10^{-8}$  и  $7,9 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ . Коэффициенты активности ( $\gamma$ ) ионов  $\text{H}^+$  и  $\text{Cl}^-$  в  $0,01 \text{ М}$  и  $0,1 \text{ М}$  растворах  $\text{HCl}$  соответственно равны  $0,905$  и  $0,795$ .

**Решение.**

Диффузионный потенциал — это потенциал, возникающий на границе раздела двух растворов, содержащих один и тот же электролит различной концентрации, или двух растворов разных электролитов вследствие различия в подвижности их катионов и анионов.

Вычисляем диффузионный потенциал по уравнению Гендерсона:

$$\varphi_{\text{д}} = \frac{u_+^0 - u_-^0}{u_+^0 + u_-^0} \cdot \frac{2,3RT}{zF} \lg \frac{a_1}{a_2}; \quad a_1(x) > a_2(x); \quad a = \gamma \cdot c;$$

$$\varphi_{\text{д}} = \frac{(36,3 - 7,9) \cdot 10^{-8}}{(36,3 + 7,9) \cdot 10^{-8}} \cdot 0,059 \cdot \lg \frac{0,1 \cdot 0,795}{0,01 \cdot 0,905} = 0,036 \text{ В.}$$

*Ответ:*  $\varphi_{\text{диф}} = 0,036 \text{ В.}$

**87.** Рассчитайте величину мембранного потенциала клеток поджелудочной железы, проницаемой для ионов  $\text{Ca}^{2+}$ , если внутри клеток  $a(\text{Ca}^{2+}) = 2 \cdot 10^{-6}$  моль/л, в наружной среде  $a(\text{Ca}^{2+}) = 5 \cdot 10^{-4}$  моль/л.  $T = 310 \text{ К.}$

**Решение.**

Мембранный потенциал возникает между сторонами мембраны с избирательной проницаемостью, разделяющей два раствора различного состава.

Вычисляем мембранный потенциал по уравнению Нернста:

$$\varphi_{\text{м}} = \frac{2,3RT}{zF} \lg \frac{a_{\text{внеш}}(X)}{a_{\text{внутр}}(X)};$$

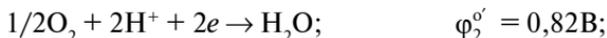
$$\varphi_{\text{м}} = \frac{2,3 \cdot 8,31 \cdot (273 + 37)}{2 \cdot 96500} \lg \frac{5 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 10^{-6}} = 0,074 \text{ В.}$$

*Ответ:* мембранный потенциал равен  $0,074 \text{ В.}$

**88.** Рассчитайте изменение величины энергии Гиббса при движении пары электронов через всю дыхательную цепь при биологическом окислении.

**Решение.**

Записываем уравнения полуреакций:



$\varphi^{\circ}$  – формальный потенциал при  $\text{pH} = 7,0$ ;  $T = 298 \text{ К}$  (справочные данные).

Суммарная реакция имеет вид:



$$E^{\circ} = \varphi_2^{\circ} - \varphi_1^{\circ}; \quad E^{\circ} = 0,82 - (-0,32) = 1,14 \text{ В.}$$

Запишем уравнение для определения  $\Delta G^{\circ}$ :

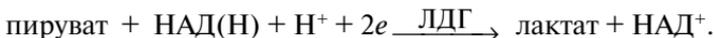
$$\Delta G^{\circ} = -nFE^{\circ},$$

где  $n$  – число электронов,  $F$  – число Фарадея,  $E^{\circ}$  – ЭДС реакции.

$$\Delta G^{\circ} = -2 \cdot 96500 \cdot 1,14 = -220,02 \text{ кДж/моль.}$$

*Ответ:* изменение величины энергии Гиббса составляет  $\approx -220 \text{ кДж/моль}$ , экзэргонический процесс.

**89.** Фермент лактатдегидрогеназа (ЛДГ) катализирует реакцию:



Рассчитайте константу равновесия этой реакции ( $T = 298 \text{ К}$ ), оцените результат.

**Решение.**

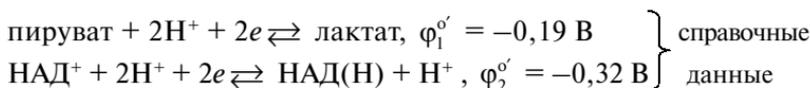
Связь  $E^{\circ}$  и  $K_{\text{равн}}$  выражается соотношением:

$$\Delta G^{\circ} = -nF \cdot E^{\circ},$$

$$\Delta G^{\circ} = -2,3RT \lg K_{\text{равн}},$$

$$-nFE^{\circ} = -2,3 \cdot R T \lg K_{\text{равн}} \Rightarrow \lg K_{\text{равн}} = \frac{-nFE^{\circ}}{2,3 \cdot R \cdot T}.$$

Для нахождения  $E^0$  надо выделить две полуреакции:



$$E^0 = \varphi^{\circ}(\text{ок-ля}) - \varphi^{\circ}(\text{вос-ля}) = -0,19 - (-0,32) = 0,13 \text{ В.}$$

Рассчитаем  $K_{\text{равн}}$ :

$$\lg K_{\text{равн}} = \frac{-2 \cdot 96500 \cdot (0,13)}{-2,3 \cdot 8,31 \cdot 298} = +4,4;$$

$$K_{\text{равн}} = 10^{4,4} = 25119.$$

*Ответ:*  $K_{\text{равн}}$  данного процесса равна 25119, равновесие смещено вправо ( $K_{\text{равн}} \gg 1$ ).

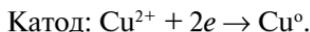
**90.** Составьте схему гальванического элемента из медного и цинкового электродов, погруженных в 1М растворы солей этих металлов. Рассчитайте ЭДС этого элемента. Напишите уравнения электродных процессов. Изменится ли ЭДС, если взять 0,001 М растворы солей?

**Решение.**

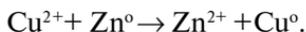
Запишем табличные значения стандартных электродных потенциалов меди и цинка:

$$\varphi^{\circ}(\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}) = +0,35 \text{ В}; \quad \varphi^{\circ}(\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}) = -0,76 \text{ В.}$$

Так как  $\varphi^{\circ}(\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}) > \varphi^{\circ}(\text{Zn}^{2+}/\text{Zn})$ , то на медном электроде идет процесс восстановления – это катод, а на цинковом – процесс окисления, это анод.



При работе такого элемента протекает реакция:



ЭДС медно-цинкового гальванического элемента определим по формуле:

$$E = \varphi^{\circ}(\text{катода}) - \varphi^{\circ}(\text{анода}) \Rightarrow E = 0,35 - (-0,76) = 1,11 \text{ В.}$$

Схема гальванического элемента:  $(-) \text{Zn}^0 | \text{Zn}^{2+} || \text{Cu}^{2+} | \text{Cu}^0 (+)$ .

Рассчитаем равновесный потенциал электродов при условиях, отличных от стандартных, по уравнению:

$$\varphi^\circ(\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}) = +0,35\text{В};$$

$$\varphi(\text{Me}^{z+}/\text{Me}) = \varphi^\circ(\text{Me}^{z+}/\text{Me}) + \frac{2,3RT}{nF} \lg a(\text{Me}^{z+});$$

$$\varphi^\circ(\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}) = 0,35 + \frac{0,059}{2} \lg 0,001 = 0,2615 \text{ В};$$

$$\varphi^\circ(\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}) = -0,76 + \frac{0,059}{2} \lg 0,001 = -0,8485 \text{ В};$$

$$E = 0,2615 - (-0,8485) = 1,11 \text{ В}.$$

*Ответ:* ЭДС не изменится.

**91.** Рассчитайте, чему равен потенциал цинкового электрода, опущенного в раствор с концентрацией  $\text{ZnSO}_4$ , равной 0,001М,  $T = 298 \text{ К}$ .

**Решение.**

Величина потенциала, возникающая на границе металл/раствор, определяется по уравнению Нернста:

$$\varphi(\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}) = \varphi^\circ(\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}) + \frac{RT}{zF} \cdot \ln a(\text{Zn}^{2+}),$$

где  $\varphi(\text{Zn}^{2+}/\text{Zn})$  — потенциал, возникающий на границе металл/раствор;

$\varphi^\circ(\text{Zn}^{2+}/\text{Zn})$  — стандартный потенциал цинкового электрода (справочная величина),  $\varphi^\circ(\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}) = -0,763 \text{ В}$ ;

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

$T$  — температура (К), влияющая на величину электродного потенциала;

$z$  — число электронов в электродной реакции;

$\text{Zn}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Zn}^0$ ,  $z = 2$ ;

$F$  — число Фарадея, 96500 Кл/моль;

$a(\text{Zn}^{2+})$  – активная концентрация ионов цинка, равная произведению коэффициента активности ( $\gamma$ ) на аналитическую концентрацию ( $c$ ):  $a = \gamma \cdot c$ . При больших разведениях ( $c = 10^{-3}$  и меньше)  $\gamma = 1$ ;  $a = c$ .

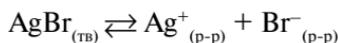
$$\varphi(\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}) = -0,763 + \frac{8,31 \cdot 298}{2 \cdot 96500} \cdot \ln 0,001 = -0,852 \text{ В.}$$

*Ответ:* потенциал цинкового электрода равен  $-0,852 \text{ В}$ .

**92.** Рассчитайте потенциал серебряного электрода в насыщенном растворе  $\text{AgBr}$  ( $K_s = 5,3 \cdot 10^{-13}$ ), содержащем, кроме того,  $0,1$  моль/л  $\text{KBr}$  ( $t = 25^\circ\text{C}$ ).

**Решение.**

По справочнику находим  $\varphi(\text{Ag}^+/\text{Ag}) = +0,80 \text{ В}$ ;  
запишем уравнение гетерогенного равновесия:



и определяем концентрацию ионов  $\text{Ag}^+$ :

$$K_s(\text{AgBr}) = a(\text{Ag}^+) \cdot a(\text{Br}^-); \quad a(\text{Br}^-) = 0,1 \text{ моль/л};$$

$$a(\text{Ag}^+) = \frac{K_s(\text{AgBr})}{a(\text{Br}^-)} = \frac{5,3 \cdot 10^{-13}}{0,1} = 5,3 \cdot 10^{-12} \text{ моль/л};$$

по уравнению Нернста определяем потенциал серебряного электрода:

$$\varphi(\text{Ag}^+/\text{Ag}) = \varphi^\circ(\text{Ag}^+/\text{Ag}) + \frac{2,3RT}{1F} \lg a(\text{Ag}^+);$$

$$\frac{2,3 \cdot R \cdot T}{F} = \frac{2,3 \cdot 8,31 \cdot 298}{96500} = 0,059;$$

$$\varphi(\text{Ag}^+/\text{Ag}) = 0,80 + 0,059 \cdot \lg(5,3 \cdot 10^{-12}) = 0,135 \text{ В.}$$

*Ответ:*  $\varphi(\text{Ag}^+/\text{Ag}) = 0,135 \text{ В}$ .

**93.** Вычислите потенциал водородного электрода при 298 К, погруженного в раствор, содержащий в 1 л 5,85 г NaCl и 0,1 моль хлороводорода. Расчет произвести с учетом ионной силы раствора.

**Решение.**

Вычисляем ионную силу раствора ( $I$ ) по формуле:

$$I = \frac{1}{2} \sum c_i \cdot z_i^2;$$

$c(\text{HCl}) = 0,1$  моль/л;

$$c(\text{NaCl}) = \frac{m(\text{NaCl})}{M(\text{NaCl}) \cdot V_{\text{р-ра}}} = \frac{5,85 \text{ г}}{58,5 \text{ г/моль} \cdot 1 \text{ л}} = 0,1 \text{ моль/л.}$$

$$\begin{aligned} I &= \frac{1}{2} (c(\text{H}^+) \cdot 1^2 + c(\text{Cl}^-) \cdot 1^2 + c(\text{Na}^+) \cdot 1^2 + c(\text{Cl}^-) \cdot 1^2) = \\ &= \frac{1}{2} (0,1 \cdot 1 + 0,1 \cdot 1 + 0,1 \cdot 1 + 0,1 \cdot 1) = 0,2 \text{ моль/л.} \end{aligned}$$

По величине ( $I$ ), пользуясь справочными данными (см. приложение), находим коэффициент активности  $\gamma = 0,7$  и определяем активную концентрацию ионов водорода:

$$a(\text{H}^+) = \gamma \cdot c(\text{H}^+) = 0,7 \cdot 0,1 = 0,07 \text{ моль/л.}$$

Определяем pH исследуемого раствора:  $\text{pH} = -\lg 0,07 = 1,15$ .

Потенциал водородного электрода рассчитывается по уравнению:  $\varphi(2\text{H}^+/\text{H}_2) = -0,059\text{pH}$ ;

$$\varphi(2\text{H}^+/\text{H}_2) = -0,059 \cdot 1,15 = -0,068 \text{ В.}$$

*Ответ:* потенциал водородного электрода в исследуемом растворе равен  $-0,068 \text{ В}$ .

**94.** Стекланный электрод, соединенный в гальваническую цепь с электродом сравнения при  $T = 298 \text{ К}$ , сначала погрузили в раствор с  $\text{pH} = 3,5$ , а затем – в исследуемую пробу молока. При этом ЭДС цепи уменьшилась на  $0,089 \text{ В}$ . pH молока в норме находится в пределах  $6,6$ – $6,9$ . Оцените результат исследования

молока, если учесть, что измерительный электрод заряжается отрицательно по отношению к электроду сравнения.

**Решение.**

Потенциал стеклянного электрода в растворе с  $\text{pH} = 3,5$  определяется по уравнению:  $\varphi_1 = \varphi^\circ - 0,059 \cdot 3,5$ ;

потенциал стеклянного электрода в исследуемой пробе молока определяется по уравнению:  $\varphi_2 = \varphi^\circ - 0,059 \cdot \text{pH}$ .

По условию задачи  $\varphi_2 - \varphi_1 = -0,089$ , тогда

$$-0,089 = 0,059 \cdot (3,5 - \text{pH}); \quad \text{pH} = 3,5 + \frac{0,089}{0,059} = 5,01;$$

$5,01 < 6,6$ , следовательно, молоко прокисло.

*Ответ:*  $\text{pH}$  пробы молока ниже нормы, молоко прокисло.

**95.** Для измерения  $\text{pH}$  сока поджелудочной железы была составлена гальваническая цепь из водородного и каломельного (насыщенного) электродов. Измеренная при  $30^\circ\text{C}$  ЭДС составила  $707\text{ мВ}$ . Вычислите  $\text{pH}$  сока поджелудочной железы и приведите схему гальванической цепи.

**Решение.**

По справочнику находим потенциал каломельного (насыщенного) электрода при  $t = 30^\circ\text{C}$ :

$$\varphi(\text{Hg}_2\text{Cl}_2, \text{KCl}_{\text{насыщ.}}/\text{Hg}) = 0,241\text{ В.}$$

Вычисляем потенциал водородного электрода из уравнения:  $E = \varphi(\text{калом.}) - \varphi(\text{водор.})$ , так как потенциал водородного всегда отрицательный и меньше каломельного,

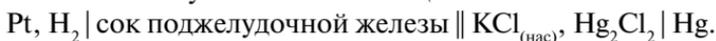
$$\varphi(\text{водор.}) = \varphi(\text{калом.}) - E;$$

$$\varphi(\text{калом.}) = 0,241 - 0,707 = -0,466\text{ В.}$$

$$\text{Из уравнения } \varphi(\text{водор.}) = \varphi^\circ + \frac{2,3RT}{2F} \lg a^2(\text{H}^+) \text{ или}$$

$$\varphi(\text{водор.}) = -\frac{2,3RT}{F} \text{pH}; \quad \text{pH} = -\frac{\varphi(\text{водор.})}{0,06} = -\frac{-0,466}{0,06} = 7,77.$$

Запишем схему гальванической цепи:



*Ответ:* рН сока поджелудочной железы равен 7,77 (в норме).

**96.** Вычислите ЭДС цепи при 298 К, состоящей из водородного и хлорсеребряного электродов, опущенных в буферный раствор, содержащий по 0,3 г  $\text{CH}_3\text{COOH}$  и  $\text{CH}_3\text{COONa}$  в 0,5 л. Концентрация электролита в хлорсеребряном электроде сравнения равна 1 моль/л.

**Решение.**

рН буферного раствора определяем по уравнению Гендерсона–Гассельбаха:

$$\text{pH} = \text{p}K_a - \lg \frac{c(\text{CH}_3\text{COOH})}{c(\text{CH}_3\text{COONa})};$$

$$\text{p}K_a = 4,76 \text{ (справочные данные);}$$

$$c(\text{CH}_3\text{COOH}) = \frac{m(\text{CH}_3\text{COOH})}{M(\text{CH}_3\text{COOH}) \cdot V_{\text{р-ра}}} = \frac{0,3 \text{ г}}{60 \text{ г/моль} \cdot 0,5 \text{ л}} = 0,0100 \text{ моль/л;}$$

$$c(\text{CH}_3\text{COONa}) = \frac{m(\text{CH}_3\text{COONa})}{M(\text{CH}_3\text{COONa}) \cdot V_{\text{р-ра}}} =$$

$$= \frac{0,3 \text{ г}}{82 \text{ г/моль} \cdot 0,5 \text{ л}} = 0,0073 \text{ моль/л;}$$

$$\text{pH} = 4,76 - \lg \frac{0,0100}{0,0073} = 4,62.$$

$$E = \varphi(\text{xc}) - \varphi(2\text{H}^+/\text{H}_2), \text{ где } \varphi(\text{xc}) = 0,238 \text{ В}$$

при  $c(\text{KCl}) = 1 \text{ моль/л}$  (справочные данные);

$$\varphi(2\text{H}^+/\text{H}_2) = -0,059\text{pH} = -0,059 \cdot 4,62 = -0,273 \text{ В;}$$

$$E = 0,238 - (-0,273) = 0,511 \text{ В.}$$

*Ответ:* ЭДС цепи 0,511 В.

**97.** Как происходит электрохимическая коррозия в месте контакта стального и золотого протезов в слабокислой слюне, содержащей растворенный кислород?

**Решение.**

При электрохимической коррозии реакция взаимодействия металла с раствором электролита разделяется на две стадии:

1. Анодный процесс – окисление атомов металла и переход образующихся ионов в раствор:  $Me - ne = Me^{n+}$ .

Роль анода выполняет более активный металл.

2. Катодный процесс – восстановление окислителя.

В водных растворах, не содержащих других окислителей, кроме ионов водорода и молекул растворенного в воде кислорода, на катоде восстанавливаются только эти частицы.

Процесс восстановления ионов водорода называется *водородной деполяризацией*:  $2H^+ + 2e = H_2$ .

Процесс восстановления кислорода называется *кислородной деполяризацией*:  $O_2 + 2H_2O + 4e = 4OH^-$ ;  $O_2 + 4H^+ + 4e = 2H_2O$ .

Роль катода всегда выполняет менее активный металл или примесные включения.

Коррозия с водородной деполяризацией возможна в условиях, когда потенциал корродирующего металла более отрицателен по сравнению с потенциалом водородного электрода при таких же условиях ( $\varphi^0(2H^+/H_2) = 0$  В).

Этому виду коррозии подвергаются металлы в растворах кислот ( $pH < 7$ ) и некоторые металлы с низкими потенциалами (до кадмия) в нейтральных средах, так как в нейтральной среде потенциал водородного электрода равен: ( $\varphi(2H^+/H_2) = -0,414$  В).

Металлы, имеющие положительные потенциалы (Cu, Ag, Hg, Pd), более устойчивы к коррозии.

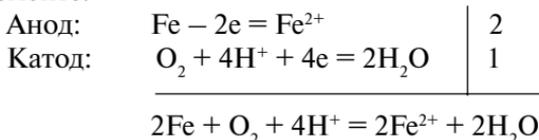
Если потенциалы металлов  $0 < \varphi^0 < +0,82$  В, то они могут корродировать только с участием кислорода. Потенциалы кислородного электрода имеют следующие значения:

$$\varphi^0(O_2, H_2O/4OH^-) = +0,401 \text{ В;}$$

$$\varphi^0(O_2, 4H^+/2H_2O) = +1,23 \text{ В;}$$



ет. Железо в рассматриваемом гальваническом элементе выполняет роль анода, а золото – роль катода. Электроны, перешедшие с железа на золото, принимаются молекулами кислорода слюны. Рассмотрим процессы, протекающие в гальваническом элементе:



В результате протекания в гальваническом элементе реакций возникает ЭДС, которая может достигать значительной величины:

$$E = \varphi(\text{катода}) - \varphi(\text{анода}) = +0,875 - (-0,44) = +1,315 \text{ В.}$$

Таким образом, при электрохимической коррозии происходят те же процессы, что и при работе гальванического элемента. Отличие состоит в том, что нет внешней цепи, поэтому электроны не выходят из металла, движутся внутри него, то есть коррозионный элемент является короткозамкнутым.

## Задания для самостоятельного решения

**1.** Рассчитайте молярную массу неэлектролита, если 28,5 г этого вещества, растворенного в 785 г воды, вызывают понижение давления пара воды над раствором на 52,37 Па при 25 °С. Давление пара над чистым растворителем равно 7375,9 Па.

*Ответ:*  $M = 91,4$  г/моль.

**2.** Чему равно давление насыщенного пара над раствором ( $p$ ), содержащим 5,2 г некоторого вещества с  $M(X) = 49$  г/моль в 117 г воды при 70 °С. Давление насыщенного пара над водой ( $p^\circ$ ) при той же температуре равно 312 кПа.

*Ответ:* 307 кПа.

**3.** Вычислите при  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  давление насыщенного пара воды над раствором, содержащим 5 г гидроксида натрия в 180 г воды. Кажущаяся степень диссоциации гидроксида натрия равна 0,8. Давление насыщенного пара над водой при  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  равно 101,33 кПа.

*Ответ:*  $p < p_0$  и равно 99,1 кПа.

**4.** При  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  давление насыщенного пара над раствором, содержащим 0,05 моль сульфата натрия в 450 г воды, равно 100,8 кПа.  $p_0 = 101,33\text{ кПа}$ . Рассчитайте кажущуюся степень диссоциации сульфата натрия.

*Ответ:*  $\alpha = 0,75$ .

**5.** В равных объемах воды растворено в одном случае 0,5 моль сахарозы, а в другом — 0,2 моль хлорида кальция. Температуры кристаллизации обоих растворов одинаковы. Чему равна кажущаяся степень диссоциации хлорида кальция?

*Ответ:*  $\alpha = 0,75$ .

**6.** Вычислите температуру кипения и замерзания 0,9%-ного раствора NaCl, применяемого в медицинской практике, если  $i = 1,95$ .

*Ответ:*  $t_{\text{кип}}^{\circ} = 100,16\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{\text{зам}}^{\circ} = -0,56\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**7.** При растворении 2,76 г неэлектролита в 200 г воды температура замерзания раствора понизилась на  $0,279\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Вычислите молярную массу неэлектролита. Криоскопическая константа  $K(\text{H}_2\text{O}) = 1,86\text{ град} \cdot \text{кг/моль}$ .

*Ответ:* 92 г/моль.

**8.** Гормон щитовидной железы — тироксин массой 0,445 г растворили в бензоле массой 10 г. Температура кристаллизации полученного раствора составила 278,2 К. Рассчитайте молярную массу тироксина.

*Ответ:* 684 г/моль.

**9.** Рассчитайте массовую долю водного раствора этиленгликоля, замерзающего при  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

*Ответ:*  $\omega = 3,23\%$ .

**10.** Рассчитайте температуру замерзания водного раствора, содержащего 50 г этиленгликоля (спирт,  $M = 62\text{ г/моль}$ ) в 500 г воды.

*Ответ:*  $-3,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**11.** Плазма крови начинает замерзать при  $-0,59\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Какова осмоляльность плазмы и каково ее осмотическое давление при температуре  $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ ?

*Ответ:*  $c_m = 0,32\text{ осмоль/кг}$ ;  $P_{\text{осм}} = 820\text{ кПа}$ .

**12.** Для предотвращения замерзания в зимнее время к водным растворам добавляют глицерин. Допустив, что закон Рауля применим к подобным растворам, вычислите, сколько г глицерина нужно прибавить к 100 г воды, чтобы раствор не замерзал до  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

*Ответ:* 24,7 г глицерина.

**13.** Вычислите массу хлорида натрия, которую необходимо добавить на каждый килограмм льда, чтобы он растаял при  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Кажущаяся степень диссоциации соли в этом растворе составляет 90%.

*Ответ:* 82,8 г.

**14.** Какую массу глицерина (спирт,  $M = 92\text{ г/моль}$ ) следует прибавить к 0,5 л воды, чтобы получить раствор с температурой кипения  $100,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ?

*Ответ:* 9,0 г.

**15.** Вычислите изотонический коэффициент и степень диссоциации KCl в растворе, если его моляльная концентрация в

растворе равна 1 моль/кг, а температура кипения составила 100,94 °С.

*Ответ:*  $i(\text{KCl}) = 1,81$ ;  $\alpha = 0,81$ .

**16.** При растворении 19,46 г сульфата натрия в 100 г воды температура кипения воды повысилась на 1,34 град. Определите степень диссоциации соли в растворе.

*Ответ:* 44%.

**17.** Сколько г рибозы следует растворить в 180 г воды, чтобы получить раствор, кипящий при 100,1 °С?

*Ответ:* 5,13 г.

**18.** Раствор, содержащий 0,53 г карбоната натрия в 200 г воды, кристаллизуется при  $-0,13$  °С. Вычислите кажущуюся степень диссоциации соли в данном растворе.

*Ответ:*  $\alpha = 0,9$ .

**19.** 90 г гидроксида натрия растворили в 750 мл воды. Температура кипения приготовленного раствора 102,65 °С. Чему равен изотонический коэффициент гидроксида натрия в этом растворе?

*Ответ:*  $i = 1,70$ .

**20.** Каковы температуры кипения и замерзания раствора с моляльной концентрацией карбоната натрия 0,025 моль/кг, если изотонический коэффициент карбоната натрия равен 2,80?

*Ответ:*  $t_{\text{кип}} = 100,036$  °С;  $t_{\text{зам}} = -0,13$  °С.

**21.** Какая масса глюкозы ( $M = 180$  г/моль) содержится в 250 мл раствора (при 37 °С), если этот раствор изотоничен крови?

*Ответ:* 13,5 г.

**22.** В 1 л воды растворили 9 г хлорида натрия ( $M = 58,5$  г/моль) и 1 г глюкозы. Рассчитайте осмоляльность этого раствора.

*Ответ:* 0,313 моль/кг  $H_2O$ .

**23.** Раствор, содержащий 16,05 г  $Ba(NO_3)_2$  ( $M = 261$  г/моль) в 500 г воды, кипит при 100,12 °С. Рассчитайте изотонический коэффициент соли в этом растворе.

*Ответ:* 1,91.

**24.** Нитрат калия массой 10,11 г растворили в дистиллированной воде массой 246 г. Полученный раствор кипит при температуре 100,4 °С. Вычислите изотонический коэффициент нитрата калия в этом растворе.

*Ответ:*  $i = 1,89$ .

**25.** Рассчитайте температуру кипения и температуру заморзания водного раствора с массовой долей сахарозы 2%.

*Ответ:*  $t_{\text{кип}}^{\circ} = 100,031$  °С;  $t_{\text{зам}}^{\circ} = -0,111$  °С.

**26.** Рассчитайте молярную массу неэлектролита, если температура заморзания раствора, содержащего 5 г вещества в 500 г воды, равна  $-0,102$  °С.

*Ответ:*  $M = 182,5$  г/моль.

**27.** Какую массу воды следует взять для растворения 5,0 г сорбита для получения раствора, замораживающего при  $-0,2$  °С?

*Ответ:*  $m(H_2O) = 255$  г.

**28.** Осмотическое давление раствора, содержащего 7,45 г сахара в 0,625 л раствора, равно 0,812 атм при 12 °С. На основании этих данных установите молекулярную массу сахара.

*Ответ:* 343 г/моль.

**29.** Определите осмотическое давление, которое может выдержать эритроцит, если гемолиз наблюдается в 0,3%-ном растворе (плотность 1 г/мл) хлорида натрия.

*Ответ:* 2,6 атм.

**30.** Чему равно осмотическое давление раствора с массовой долей глицерина 1% ( $\rho = 1,0006$  г/мл)? Будет ли этот раствор изотоничен раствору с осмотическим давлением 500 кПа?

*Ответ:*  $P_{\text{осм}} = 268$  кПа, нет.

**31.** Рассчитайте осмотическое давление при 310 К 5%-ного водного раствора глюкозы ( $\rho = 1,02$  г/мл), который используется для внутривенных вливаний при кровопотерях. Будет ли этот раствор изотоничен плазме крови?

*Ответ:*  $P_{\text{осм}} = 730$  кПа, да.

**32.** Рассчитайте осмотическое давление при 310 К водного раствора, содержащего в 0,1 л дезоксирибозу массой 1,34 г. Каким (гипо-, гипер- или изотоническим) является этот раствор по отношению к плазме крови?

*Ответ:*  $P_{\text{осм}} = 258$  кПа; раствор гипотоничен по отношению к плазме крови.

**33.** В 250 мл раствора содержится 1,86 г хлорида калия. При 10 °С осмотическое давление этого раствора равно 437 кПа. Чему равен изотонический коэффициент хлорида калия в данном растворе?

*Ответ:*  $i = 1,86$ .

**34.** Каким будет по отношению к плазме крови при 37 °С раствор с молярной концентрацией карбоната калия 0,05 моль/л? Изотонический коэффициент карбоната калия равен 2,40.

*Ответ:*  $P_{\text{осм}} = 309$  кПа; раствор гипотонический.

**35.** Осмотическое давление концентрата кофе при  $10\text{ }^\circ\text{C}$  равно  $2,37\text{ МПа}$ . Чему равна осмолярность этого раствора?

*Ответ:*  $c = 1,01\text{ осмоль/л}$ .

**36.** Морская вода, содержащая  $2,5\%$  солей по массе, замерзает при  $-1,332\text{ }^\circ\text{C}$ . Чему равна осмолярность морской воды?

*Ответ:*  $c_{\text{м}} = 0,716\text{ осмоль/кг}$ .

**37.** Рассчитайте осмотическое давление раствора при  $25\text{ }^\circ\text{C}$ , содержащего  $225\text{ г}$  сахарозы в  $5\text{ л}$  раствора.

*Ответ:*  $P_{\text{осм}} = 3,3 \cdot 10^5\text{ Па}$ .

**38.** Каким (гипо-, гипер-, изотоническим) является  $20\%$ -ный раствор глюкозы ( $\rho = 1,08\text{ г/мл}$ ) при  $310\text{ К}$ , применяемый для внутривенного введения при отеке легких, если осмотическое давление плазмы крови  $740\text{--}780\text{ кПа}$ ?

*Ответ:*  $P_{\text{осм}} = 3091,3\text{ кПа}$ ; раствор гипертонический.

**39.** В медицинской практике применяют раствор с массовой долей хлорида кальция  $10\%$  ( $\rho = 1,08\text{ г/мл}$ ). Рассчитайте молярную концентрацию хлорида кальция в данном растворе, осмолярность и осмотическое давление при  $37\text{ }^\circ\text{C}$ . Каким по отношению к плазме крови является этот раствор?

*Ответ:*  $0,97\text{ М}$ ;  $2,92\text{ М}$ ;  $7519\text{ кПа}$ ; раствор гипертонический.

**40.** У человека осмолярность интерстициальной жидкости повышается с  $0,3\text{ осмоль/л}$  в корковом веществе до  $1,2\text{ осмоль/л}$  в сосочке нефрона. Вычислите, как изменяется при этом осмотическое давление ( $T = 310\text{ К}$ ).

*Ответ:*  $P_{\text{осм}}$  изменяется от  $772,8\text{ кПа}$  до  $3091,3\text{ кПа}$ .

**41.** Осмотическое давление плазмы крови в среднем  $760\text{ кПа}$ . Какова молярная концентрация глюкозы в растворе, изотоничном крови при  $37\text{ }^\circ\text{C}$ ?

*Ответ:*  $c(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 0,295\text{ моль/л}$ .

**42.** Рассчитайте осмолярность плазмы, если  $c(\text{Na}^+) = 140$  ммоль/л,  $c(\text{K}^+) = 6$  ммоль/л,  $c(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 5$  ммоль/л,  $c(\text{CO}(\text{NH}_2)_2) = 8$  ммоль/л.

*Ответ:* 0,305 осмоль/л.

**43.** Осмотическое давление водного раствора с концентрацией хлорида магния 0,1 моль/л равно при 298 К 691 кПа. Вычислите изотонический коэффициент хлорида магния в этом растворе.

*Ответ:*  $i = 2,79$ .

**44.** В качестве слабительного средства взрослым назначают принимать натощак 0,5 стакана (100 мл) раствора глауберовой соли, содержащего 20 г  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ . Рассчитайте осмотическое давление этого раствора при 25 °С, если  $i = 2,75$ , и поясните причину слабительного эффекта.

*Ответ:* раствор гипертоничен, т.к. его  $P_{\text{осм}} = 4231,88$  кПа, поэтому осмотическое давление в просвете кишечника повышается, вызывая тем самым поступление большого количества воды, кишечник растягивается, и возникает послабляющее действие.

**45.** При внутренних кровоизлияниях (легочных, желудочно-кишечных), а также для усиления диуреза внутривенно вводят от 5 до 20 мл 10%-ного раствора  $\text{NaCl}$  ( $\rho = 1,071$  г/мл,  $i = 1,87$ ). Рассчитайте осмотическое давление этого раствора и определите, каким он будет по отношению к плазме крови ( $t = 37$  °С).

*Ответ:* раствор гипертоничен, т.к. его  $P_{\text{осм}} = 8819,92$  кПа.

**46.** Рассчитайте верхнюю и нижнюю границы осмолярности растительных тканей степных растений. Осмотическое давление в них колеблется от 810 кПа до 4052 кПа. Температуру принять равной 298 К.

*Ответ:*  $c_{\text{осм}} = 0,327 - 1,64$  осмоль/л.

**47.** У эритроцитов человека гемолиз начинается в 0,4%-ном растворе хлорида натрия, а в 0,34%-ном растворе NaCl наступит «осмотический шок». Каково осмотическое давление этих растворов при 37 °С, если принять  $\rho = 1$  г/мл,  $i(\text{NaCl}) = 1,86$ ?

*Ответ:*  $P_{\text{осм}} = 326$  и  $278$  кПа.

**48.** При несахарном диабете у человека выделяется большое количество мочи, при этом осмолярность ее снижается до 0,06 осмоль/л. Рассчитайте осмотическое давление такой мочи при 37 °С.

*Ответ:*  $P_{\text{осм}} = 154,6$  кПа.

**49.** В качестве наружного антисептического средства применяется водный раствор борной кислоты. Рассчитайте степень ионизации борной кислоты, если 12,4 г ее находится в 2 л раствора.

*Ответ:*  $\alpha = 8,4 \cdot 10^{-3}\%$ .

**50.** Определите потенциальную и общую кислотность раствора  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , если pH раствора 4,52,  $\text{p}K_a = 4,75$ .

*Ответ:* потенциальная кислотность равна  $2,11 \cdot 10^{-5}$  моль/л, общая кислотность —  $5,12 \cdot 10^{-5}$  моль/л.

**51.** Вычислите степень диссоциации в растворе глюконовой кислоты с концентрацией глюконовой кислоты 0,1 моль/л.  $K_d = 1,38 \cdot 10^{-4}$ .

*Ответ:*  $\alpha = 3,71 \cdot 10^{-2}$ .

**52.** Какова степень электролитической диссоциации (а) дихлоруксусной кислоты в ее 0,01 М растворе, если при 300 К этот раствор создает осмотическое давление в 43596,4 Па?

*Ответ:*  $\alpha = 0,75$ .

**53.** Рассчитайте степень ионизации метиламина в растворе с молярной концентрацией метиламина 0,2 моль/л.

*Ответ:*  $\alpha = 4,8\%$ .

**54.** Степень диссоциации уксусной кислоты в 0,1 М растворе равна  $1,32 \cdot 10^{-2}$ . Рассчитайте константу диссоциации кислоты и значение рК.

*Ответ:*  $K_d = 1,74 \cdot 10^{-5}$ ;  $pK = 4,76$ .

**55.** В 1 л 0,01 М раствора уксусной кислоты содержится  $6,26 \cdot 10^{21}$  ее молекул и ионов. Рассчитайте степень диссоциации уксусной кислоты.

*Ответ:*  $\alpha = 0,04$ .

**56.** Константа диссоциации HCN равна  $7,9 \cdot 10^{-10}$ . Чему равна степень диссоциации HCN в 0,001 М растворе?

*Ответ:*  $\alpha = 8,9 \cdot 10^{-4}$ .

**57.** Хлорид кальция используется в медицине в качестве лечебного препарата. Определите молярную концентрацию ионов кальция и ионов  $Cl^-$  в 2,22%-ном растворе  $CaCl_2$  ( $\rho = 1$  г/мл), если степень диссоциации соли в нем составляет 90%.

*Ответ:*  $c(Ca^{2+}) = 0,18$  моль/л;  $c(Cl^-) = 0,36$  моль/л.

**58.** Вычислите массу ионов  $Ca^{2+}$  и  $Cl^-$ , содержащихся в 500 мл 0,1 М раствора хлорида кальция, если считать диссоциацию соли полной.

*Ответ:*  $m(Ca^{2+}) = 2,0$  г;  $m(Cl^-) = 3,55$  г.

**59.** Вычислите коэффициент активности (используя формулу Дебая – Хюккеля) и активность иона  $Na^+$  в растворе хлорида натрия с концентрацией  $10^{-2}$  моль/л.

*Ответ:* 0,89;  $8,9 \cdot 10^{-3}$  моль/л.

**60.** Рассчитайте коэффициент активности ионов водорода в растворах: а) серной кислоты при  $c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,01\text{M}$ ,  $\text{pH} = 1,76$ ; б) уксусной кислоты при  $c(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,006\text{M}$ ,  $\text{pH} = 3,49$ .

*Ответ:* а) 0,85; б) 0,98.

**61.** Вычислите коэффициент активности ( $\gamma$ ) в 0,07M растворе соляной кислоты с  $\text{pH} = 1,3$ .

*Ответ:*  $\gamma = 0,72$ .

**62.** При отравлениях цианидами внутривенно вводят 2%-ный раствор нитрита натрия ( $\rho = 1,011\text{ г/мл}$ ). Вычислите коэффициент активности ионов в этом растворе.

*Ответ:*  $\gamma = 0,56$ .

**63.** Рассчитайте ионную силу ( $I$ ) плазмозамещающего солевого раствора, приготовленного по следующей прописи:

- натрия ацетат — 0,2 г;
- натрия хлорид — 0,5 г;
- калия хлорид — 0,1 г;
- вода для инъекций — до 100 мл.

*Ответ:*  $I = 0,122\text{ моль/л}$ .

**64.** В качестве плазмозамещающего раствора применяется раствор Рингера—Локка, имеющий пропись:

- натрия хлорид — 0,9 г;
- калия хлорид — 0,02 г;
- кальция хлорид — 0,02 г;
- натрия гидрокарбонат — 0,02 г;
- глюкоза — 0,1 г;
- вода для инъекций — до 100 мл.

Рассчитайте ионную силу этого раствора и активность ионов натрия, если коэффициент активности ионов натрия равен 0,622.

*Ответ:*  $I = 0,164\text{ моль/л}$ ;  $a(\text{Na}^+) = 0,112\text{ моль/л}$ .

**65.** Рассчитайте ионную силу и активность ионов в растворе, содержащем 0,01 моль/л сульфата магния и 0,01 моль/л хлорида магния.

*Ответ:*  $I = 0,07$ ;  $a(\text{Mg}^{2+}) = 0,006$  моль/л;  
 $a(\text{SO}_4^{2-}) = 0,003$  моль/л;  $a(\text{Cl}^-) = 0,0148$  моль/л.

**66.** Какова активность иона калия в плазмозамещающем растворе следующего состава:

глюкоза — 10,0 г;  
хлорид натрия — 0,5 г;  
хлорид калия — 0,3 г;  
сульфат магния — 0,05 г;  
кислота глутаминовая — 0,1 г;  
вода для инъекций — до 100 мл?

*Ответ:*  $a(\text{K}^+) = 0,028$  моль/л.

**67.** 5%–10%-ные растворы хлорида кальция используются в качестве противоаллергического, противовоспалительного, гемостатического и дезинтоксикационного средств. Рассчитайте ионную силу и активность ионов кальция в его 5%-ном растворе ( $\rho = 1,0835$  г/мл).

*Ответ:*  $I = 1,464$  моль/л;  $a(\text{Ca}^{2+}) = 1,68 \cdot 10^{-3}$  моль/л.

**68.** Водные растворы сульфата цинка применяются в качестве глазных капель как антисептическое средство. Рассчитайте активность иона цинка в растворах с массовой долей сульфата цинка 0,1%; 0,25%. Плотность растворов принять равной 1 г/мл.

*Ответ:*  $a(\text{Zn}^{2+}) = 0,00483$  моль/л.

**69.** При лечении маниакальных состояний препаратами лития концентрация иона лития в плазме должна быть не ниже 0,6 ммоль/л и не выше 1,6 ммоль/л. Вычислите диапазон активностей иона лития.  $I_{\text{плазмы}} = 0,15$  моль/л.

*Ответ:*  $\gamma_1 = 0,97$ ;  $\gamma_2 = 0,95$ ;  $a(\text{Li}^+)_1 = 5,8 \cdot 10^{-4}$  М;  
 $a(\text{Li}^+)_2 = 1,53 \cdot 10^{-3}$  М.

**70.** Рассчитайте активность ионов в растворах: а) нитрата лития и б) сульфида лития.

*Ответ:*  $a(\text{Li}^+)_1 = a(\text{NO}_3^-) = 8,9 \cdot 10^{-3}$  моль/л;  
 $a(\text{Li}^+)_2 = 1,64 \cdot 10^{-2}$  моль/л,  $a(\text{S}^{2-}) = 4,4 \cdot 10^{-3}$  моль/л.

**71.** Рассчитайте коэффициент активности иона  $\text{Ca}^{2+}$  в воде, в 1 кг которой содержится 0,002 моль  $\text{CaCl}_2$  и 0,003 моль  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ .

*Ответ:*  $\gamma(\text{Ca}^{2+}) = 0,563$ .

**72.** Рассчитайте активность ионов водорода в 0,01 М растворе серной кислоты, содержащем 0,2 моль/л сульфата натрия.

*Ответ:*  $1,74 \cdot 10^{-2}$  моль/л.

**73.** Среднее значение рН внеклеточной среды 7,4, внутриклеточной – 6,9. Чему равна разница концентраций протона?

*Ответ:* концентрация ионов водорода в 3,16 раза выше внутри клеток.

**74.** Рассчитайте концентрацию ионов водорода в венозной крови с рН = 7,36, в моче (рН = 6,0), слюне (рН = 6,8).

*Ответ:*  $c(\text{H}^+)_{\text{крови}} = 4,4 \cdot 10^{-8}$  моль/л;  $c(\text{H}^+)_{\text{мочи}} = 10^{-6}$  моль/л;  
 $c(\text{H}^+)_{\text{слюны}} = 1,58 \cdot 10^{-7}$  моль/л.

**75.** В норме показатель рН плазмы крови равен 7,4. Пограничные значения рН плазмы крови, совместимые с жизнью, равны 6,8 (рН<sub>1</sub>) и 7,9 (рН<sub>2</sub>). Определите, какие активные концентрации ионов водорода соответствуют этим значениям рН.

*Ответ:*  $a_1(\text{H}^+) = 1,58 \cdot 10^{-7}$  моль/л;  $a_2(\text{H}^+) = 1,20 \cdot 10^{-8}$  моль/л.

**76.** В желудочном соке здорового человека содержание соляной кислоты колеблется в пределах 0,05–0,15%. Рассчитайте пределы изменения рН, допуская, что коэффициент активности  $\gamma = 1$ , а  $\rho = 1$  г/мл.

*Ответ:* рН = 1,87–1,39.

**77.** Вычислите рН раствора с молярной концентрацией NaOH 0,002М, при  $\gamma = 1$ .

*Ответ:* рН = 11,3.

**78.** Рассчитайте концентрацию ионов водорода в крови, если концентрация гидроксид-ионов равна  $5,63 \cdot 10^{-7}$  моль/л (37 °С).

*Ответ:*  $c(\text{H}^+) = 4,26 \cdot 10^{-8}$  моль/л.

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

*Ответ:* в 1,5 раза.

**80.** Рассчитайте, как изменится концентрация ионов водорода в крови с изменением рН на 0,2 единицы.

*Ответ:* при увеличении рН на 0,2 единицы концентрация ионов водорода уменьшается на 38%, а при уменьшении рН на 0,2 единицы возрастает на 58% от нормального значения.

**81.** В 3 л воды растворен 1 л  $\text{CO}_2$  (н.у.). Рассчитайте рН раствора.

*Ответ:* рН = 4,1.

**82.** Вычислите рН 0,1 М раствора HCOOH.

*Ответ:* рН = 2,38.

**83.** При какой концентрации (моль/л) муравьиной кислоты 50% ее находится в растворе в недиссоциированном состоянии?

*Ответ:*  $3,6 \cdot 10^{-4}$  моль/л.

**84.** Вычислите рН 0,09 М раствора  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , если степень диссоциации  $1,4 \cdot 10^{-2}$ .

*Ответ:* рН = 11,1.

**85.** Дан водный раствор аммиака ( $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) с концентрацией  $1,8 \cdot 10^{-3}$  моль/л. Рассчитайте его рН и степень диссоциации основания.

*Ответ:* 10,3; 10%.

**86.** Рассчитайте рН раствора ацетата натрия, содержащего 0,1 г соли в 250 мл раствора.

*Ответ:* рН = 8,18.

**87.** Рассчитайте рН раствора нитрата аммония, содержащего  $8,0 \cdot 10^{-3}$  г/мл соли.

*Ответ:* рН = 5,12.

**88.** При отравлении цианидами одним из компонентов комплекса антидотных средств является раствор нитрита натрия. Для его приготовления 50 мг соли растворяют в 1 л воды ( $\rho = 1$  г/мл). Рассчитайте рН полученного раствора, если средний коэффициент активности соли равен 0,85.

*Ответ:* рН = 7,09.

**89.** Чему равна концентрация ионов водорода в 0,1 М растворе хлорноватистой кислоты ( $\text{HClO}$ ),  $K_{\text{д}} = 5 \cdot 10^{-8}$ ?

*Ответ:*  $c(\text{H}^+) = 7 \cdot 10^{-5}$  моль/л.

**90.** К 150 мл раствора с молярной концентрацией гидроксида калия 0,01 моль/л добавили 200 мл раствора с молярной концентрацией соляной кислоты 0,15 моль/л. Рассчитайте активность ионов водорода в полученном растворе и рН.

*Ответ:*  $a(\text{H}^+) = 0,0578$  моль/л; 1,24.

**91.** Как изменяется рН раствора аммиака при увеличении концентрации аммиака с 0,0025 моль/л до 0,15 моль/л?

*Ответ:* от 10,32 до 11,21.

**92.** Раствор с концентрацией уксусной кислоты 0,15 моль/л разбавили дистиллированной водой в 2 раза. Изменится ли рН раствора? Принять  $\gamma=1$ .

*Ответ:* изменится от 2,792 до 2,942.

**93.** Рассчитайте рН раствора, полученного смешиванием равных объемов раствора с концентрацией уксусной кислоты 0,15 моль/л и раствора с концентрацией гидроксида натрия 0,2 моль/л.

*Ответ:* рН = 12,24.

**94.** Для молочной кислоты ( $\text{CH}_3\text{CHONCOOH}$ )  $pK = 3,86$ , концентрация анионов кислоты равна 0,01 моль/л. Рассчитайте рН и степень диссоциации кислоты.

*Ответ:* рН = 2,93;  $\alpha = 1,36\%$ .

**95.** Рассчитайте рН 0,2 М раствора уксусной кислоты и ее степень диссоциации.

*Ответ:* 2,72; 0,95%.

**96.** Рассчитайте рН раствора, полученного при растворении таблетки аскорбиновой кислоты массой 0,5 г, если объем раствора 0,4 л,  $M(\text{аск. к-ты}) = 176$  г/моль,  $K_a(\text{аск. к-ты}) = 8 \cdot 10^{-5}$ .

*Ответ:* 3,12.

**97.** К 120 мл 0,2 М раствора аммиака добавили 80 мл 0,05 М соляной кислоты. Рассчитайте рН полученного раствора.

*Ответ:* 9,95.

**98.** Какую массу гидроксида калия надо добавить к 500 мл 0,1 М раствора уксусной кислоты для получения раствора с рН, равным 4,45?

*Ответ:* 935 мг.

**99.** Концентрация ионов  $\text{OH}^-$  в растворе равна  $6,5 \cdot 10^{-8}$ . Чему равен рН этого раствора?

*Ответ:* рН = 6,81.

**100.** Сравните подвижность ионов калия в растворах, содержащих в 1 л  $\text{H}_2\text{O}$ : а) 1 моль  $\text{KCl}$ ; б) 1 моль  $\text{KCl}$  и 1 моль  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Каковы особенности поведения ионов в растворах сильных электролитов?

**101.** Электрические подвижности ионов  $\text{K}^+$  и  $\text{OH}^-$  при бесконечном разведении равны соответственно  $7,62 \cdot 10^{-8}$  и  $20,5 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2 / (\text{В с})$  при 298 К. Рассчитайте молярную электрическую проводимость гидроксида калия при бесконечном разведении.

*Ответ:*  $\Lambda^\circ(\text{KOH}) = 2,81 \cdot 10^{-8} \text{ См} \cdot \text{м}^2 / \text{моль}$ .

**102.** Сопротивление желудочного сока, измеренное в ячейке с константой  $50 \text{ м}^{-1}$ , оказалось равным 45,0 Ом. Нормальной, пониженной или повышенной является кислотность желудочного сока, если в норме  $\kappa(\text{жел. сока}) = (1,0 \div 1,2) \text{ См} \cdot \text{м}^{-1}$ .

*Ответ:*  $\kappa(\text{жел. сока}) = 1,11 \text{ См/м}$ , кислотность в норме.

**103.** Вычислите предельную молярную электрическую проводимость бензойной кислоты, если предельные молярные электрические проводимости электролитов  $\text{NaBr}$ ,  $\text{HBr}$  и  $\text{C}_6\text{H}_5\text{COONa}$  соответственно равны:  $128,5 \cdot 10^{-4}$ ,  $428,2 \cdot 10^{-4}$  и  $82,5 \cdot 10^{-4} \text{ См} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$ .

*Ответ:*  $\Lambda^\circ(\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}) = 382,2 \cdot 10^{-4} \text{ См} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$ .

**104.** Удельная электрическая проводимость насыщенного раствора  $\text{CdC}_2\text{O}_4$  при 20 °С равна  $1,415 \cdot 10^{-3} \text{ См} \cdot \text{м}^{-1}$ . Рассчитайте константу растворимости этой соли в воде, если  $\kappa(\text{H}_2\text{O}) = 2,0 \cdot 10^{-6} \text{ См} \cdot \text{м}^{-1}$ , а  $\Lambda^\circ(\text{CdC}_2\text{O}_4) = 1,15 \cdot 10^{-2} \text{ См} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$ .

*Ответ:*  $K_s = 1,51 \cdot 10^{-8}$ .

**105.** Определите относительное изменение концентрации минеральных солей в моче при заболевании почек, если удельная электрическая проводимость мочи человека изменяется от  $1,08 \text{ См} \cdot \text{м}^{-1}$  до  $1,12 \text{ См} \cdot \text{м}^{-1}$ , а соотношение молярных электрических проводимостей  $\Lambda_1 / \Lambda_2 = 0,6$ .

*Ответ:*  $c_1/c_2 = 1,607$ .

**106.** Рассчитайте удельную электрическую проводимость в  $0,01 \text{ М}$  растворе  $\text{HCl}$ , если абсолютные скорости  $\text{H}^+$  и  $\text{Cl}^-$  равны  $32,4 \cdot 10^{-8}$  и  $6,8 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ .

*Ответ:*  $\kappa = 0,378 \text{ См/м}$ .

**107.** Вычислите константу растворимости лекарственно-го вещества — дигидрохлорида декамина (условная формула  $\text{R}_3\text{N}^{2+} \cdot 2\text{Cl}^-$ ) при  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ , если предельная молярная электрическая проводимость его равна  $2,209 \text{ См} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$ , удельная электрическая проводимость его насыщенного раствора равна  $2 \cdot 10^{-3} \text{ См} \cdot \text{м}^{-1}$ , а воды, используемой для приготовления раствора, —  $1,2 \cdot 10^{-6} \text{ См} \cdot \text{м}^{-1}$ .

*Ответ:*  $K_s = 2,96 \cdot 10^{-18}$ .

**108.** Молярная электрическая проводимость раствора муравьиной кислоты при  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  и разведении  $1024 \text{ л/моль}$  равна  $143,9 \cdot 10^{-4} \text{ См} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$ , а при бесконечном разведении —  $406,5 \cdot 10^{-4} \text{ См} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$ . Определите константу ионизации кислоты и  $\text{pH}$  раствора.

*Ответ:*  $\text{pH} = 3,47$ ;  $K_{\text{д}} = 1,89 \cdot 10^{-4}$ .

**109.** Вычислите молярную электрическую проводимость раствора с массовой долей хлорида бария, равной  $10\%$  ( $\rho = 1,092 \text{ г/мл}$ ). Удельная электрическая проводимость этого раствора равна  $0,0073 \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$ .

*Ответ:*  $\Lambda_{\text{с}}(\text{BaCl}_2) = 1,39 \cdot 10^{-3} \text{ См} \cdot \text{м}^2/\text{моль}$ .

**110.** Вычислите предельную молярную электрическую проводимость соляной кислоты при 298 К и кажущуюся степень электролитической диссоциации, если молярная электрическая проводимость этого раствора равна  $3,19 \cdot 10^{-2} \text{ См} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$ .

*Ответ:*  $\Lambda^\circ(\text{HCl}) = 424 \cdot 10^{-4} \text{ См} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$ ,  $\alpha = 0,75$ .

**111.** Удельная электрическая проводимость водного раствора с концентрацией аммиака 0,01 моль/л при 25 °С имеет величину  $1,02 \cdot 10^{-2} \text{ См/м}$ , а при концентрации аммиака, равной 0,022 моль/л, —  $1,5 \cdot 10^{-2} \text{ См/м}$ . Вычислить для указанных растворов степень ионизации аммиака. Подчиняются ли результаты закону разведения Оствальда?

*Ответ:*  $\alpha_1 = 3,7 \cdot 10^{-6}$ ,  $\alpha_2 = 2,5 \cdot 10^{-6}$ . С увеличением концентрации раствора степень диссоциации  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  по закону Оствальда уменьшается.

**112.** Вычислите степень и константу диссоциации масляной кислоты, если удельная электрическая проводимость раствора масляной кислоты с концентрацией 0,0156 моль/л равна  $1,81 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$ .

*Ответ:*  $\alpha(\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}) = 0,0316$ ;  $K_d(\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}) = 1,61 \cdot 10^{-5}$ .

**113.** Удельная электрическая проводимость раствора, в 1,5 л которого находится 4,43 г хлоруксусной кислоты, равна  $2,41 \cdot 10^{-3} \text{ См/см}$ . Определите степень и константу диссоциации хлоруксусной кислоты в данном растворе.

*Ответ:*  $\alpha(\text{CH}_2\text{ClCOOH}) = 0,198$ ;  
 $K_d(\text{CH}_2\text{ClCOOH}) = 1,53 \cdot 10^{-3}$ .

**114.** Сравните степень гидролиза соли и рН среды в 0,1 М и 0,001 М растворах цианида калия.

*Ответ:* степень гидролиза: 0,0143 и 0,143; рН = 11,16 и 10,16.

**115.** Определите рН, константу и степень гидролиза хлорида аммония, если  $c(\text{NH}_4\text{Cl}) = 0,1$  моль/л,  $K_{\text{в}}(\text{NH}_4\text{OH}) = 1,74 \cdot 10^{-5}$ .

*Ответ:* рН = 5,12;  $K_{\text{г}} = 5,7 \cdot 10^{-10}$ ;  $h = 7,5 \cdot 10^{-5}$ .

**116.** Рассчитайте концентрацию (моль/л) соли  $\text{NH}_4\text{Cl}$  в растворе с рН, равным 5.

*Ответ:* 0,18 моль/л.

**117.** Рассчитайте рН раствора сульфида калия, содержащего 1,65 г соли в 300 мл раствора.

*Ответ:* рН = 12,8.

**118.** Рассчитайте рН раствора нитрата аммония, содержащего  $8,0 \cdot 10^{-3}$  г/мл соли.

*Ответ:* рН = 5,12.

**119.** Объясните, какой характер среды в децимолярных растворах  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  и  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ . Напишите, какие процессы протекают в растворах этих солей.

*Ответ:* щелочная; слабокислая.

**120.** Как изменится рН раствора с концентрацией фторида калия 0,1 моль/л, если к 50 мл этого раствора прибавить 200 мл воды?

*Ответ:* уменьшится на 0,35.

**121.** Чему равен рН раствора с концентрацией ацетата калия 0,5 моль/л?

*Ответ:* рН = 9,22.

**122.** Вычислите молярную концентрацию карбоната натрия в растворе с рН, равным 9,0.

*Ответ:*  $4,45 \cdot 10^{-5}$  моль/л.

**123.** При исследовании активности трансфераз динитрофенигидразиновым методом применяют фосфатный буфер. Для его приготовления смешивают 840 мл раствора гидрофосфата натрия  $c = 0,1$  моль/л и 160 мл раствора дигидрофосфата калия,  $c = 0,1$  моль/л. Вычислите рН такого буферного раствора.

*Ответ:* рН = 7,93.

**124.** Буферные растворы приготовлены смешением растворов:

гидрофосфата натрия и дигидрофосфата натрия

	$V$ , мл	$c$ , моль/л		$V$ , мл	$c$ , моль/л
А)	6	0,10		4	0,10
Б)	12	0,05		8	0,05
В)	12	0,05		4	0,10
Г)	6	0,10		8	0,05

Расположите буферные растворы в порядке убывания их буферной емкости. Ответ подтвердите расчетом.

*Ответ:* А, Г, В, Б.

**125.** Выберите из указанных ниже пары соединений, из которых можно приготовить буферные растворы:

- |  |                                      |
|--|--------------------------------------|
| а) HCl и KCl,  | б) HCOOH и HCOOK,                    |
| в) $\text{NH}_4\text{OH}$ и $\text{NH}_4\text{Cl}$ , | г) NaOH и NaCl,                      |
| д) $\text{NaHCO}_3$ и $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,     | е) NaOH и $\text{CH}_3\text{COOH}$ . |

К какому типу буферных систем они относятся?

*Ответ:* б, в, д, е.

**126.** В 1 литре раствора содержится 0,05 моль ацетата калия и 0,02 моль уксусной кислоты. Рассчитайте рН этого раствора.

*Ответ:* 5,1.

**127.** К 100 мл 0,05 М раствора хлорида аммония добавили 100 мл 0,02 М раствора аммиака. Рассчитайте рН полученного раствора.

*Ответ:* 8,9.

**128.** Какой объем 0,2 М раствора ацетата калия следует добавить к 500 мл 0,1 М раствора уксусной кислоты для получения раствора, величина рН которого равна 5,05?

*Ответ:* 500 мл.

**129.** В каком объемном соотношении смешаны децимолярные растворы гидрофосфата калия и дигидрофосфата натрия, если получен раствор с рН, равным 6,21?

*Ответ:*  $V(\text{K}_2\text{HPO}_4) : V(\text{NaH}_2\text{PO}_4) = 1:10$ .

**130.** К 100 мл 0,05 М раствора хлорида аммония добавили 100 мл 0,02 М раствора гидроксида калия. Рассчитайте рН полученного раствора.

*Ответ:* 9,1.

**131.** Какую массу формиата натрия следует добавить к 100 мл 0,1 М раствора муравьиной кислоты, чтобы получить раствор с рН, равным 4,05?

*Ответ:* 1,36 г.

**132.** К 10 мл 0,1 М раствора гидроксида натрия прибавили 10 мл 0,1 М раствора муравьиной кислоты. Обладает ли полученный раствор буферным действием? Ответ подтвердите расчетом.

*Ответ:* не обладает.

**133.** Как изменится рН, если к ацетатному буферному раствору, состоящему из 100 мл кислоты и 100 мл соли, с концентрацией компонентов по 0,1 моль/л, прибавить 10 мл раствора с концентрацией соляной кислоты 0,1 моль/л?  $\text{pK}_{(\text{к-ты})} = 4,76$ .

*Ответ:*  $\Delta\text{pH}$  равно 0,09.

**134.** Буферное действие плазменного альбумина сильнее выражено по отношению к кислоте или к щелочи при рН=7,4. Ответ аргументируйте.  $\text{pI}$ (альбумина) = 4,76.

*Ответ:* к кислоте.

**135.** В лабораторной биохимической практике часто используют фосфатный буфер с  $\text{pH} = 7,0$ . В каком соотношении нужно взять компоненты фосфатного буфера (гидро- и дигидрофосфат калия) для приготовления некоторого объема данного буфера?

*Ответ:*  $\text{HPO}_4^{2-} : \text{H}_2\text{PO}_4^- = 1,6 : 1$ .

**136.** Как изменится  $\text{pH}$  фосфатного буферного раствора, содержащего 100 мл раствора с концентрацией дигидрофосфата натрия 0,1 моль/л и 300 мл раствора с концентрацией гидрофосфата натрия 0,1 моль/л при добавлении к нему 20 мл раствора с концентрацией гидроксида натрия 0,1 моль/л?

*Ответ:* от 7,68 до 7,81.

**137.** При исследовании лактатдегидрогеназы в полиакриламидном геле используют фосфатный буфер с  $\text{pH} = 7,4$ . В каком соотношении нужно смешать растворы гидрофосфата натрия и дигидрофосфата калия с концентрацией солей 0,1 моль/л, чтобы получить нужный буфер?

*Ответ:* в соотношении 1,096 : 1.

**138.** При сахарном диабете в организме происходит интенсивное образование кислотных продуктов метаболизма, что вызывает сдвиг активной реакции крови в кислую сторону (ацидоз). При снижении на длительное время  $\text{pH}$  крови до 7,0 может наступить угрожающее для жизни состояние. Рассчитайте, при каких соотношениях компонентов буферных систем  $\text{HCO}_3^-/\text{H}_2\text{CO}_3$  и  $\text{HPO}_4^{2-}/\text{H}_2\text{PO}_4^-$   $\text{pH}$  крови становится равным 7,0.

*Ответ:*  $\text{HCO}_3^- : \text{H}_2\text{CO}_3 = 7,9 : 1$ ;  $\text{HPO}_4^{2-} : \text{H}_2\text{PO}_4^- = 1,6 : 1$ .

**139.**  $\text{pH}$  мочи в норме 4,7–6,5, а при нарушениях кислотно-щелочного равновесия может изменяться в пределах 4,5–8,5. При каких соотношениях  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  и  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$   $\text{pH}$  мочи становится равным: а) 4,5; б) 8,5?

*Ответ:*  $\text{NaH}_2\text{PO}_4 : \text{Na}_2\text{HPO}_4 = 500 : 1$ ;  $\text{NaH}_2\text{PO}_4 : \text{Na}_2\text{HPO}_4 = 1 : 20$ .

**140.** Как изменится величина рН буферного раствора, состоящего из 30 мл 0,2 М водного раствора аммиака и 15 мл 0,1 М раствора хлорида аммония при добавлении 5 мл 0,1 М раствора соляной кислоты?

*Ответ:* от 9,842 до 9,679.

**141.** Рассчитайте емкость буферного раствора по кислоте, если при добавлении к 50 мл этого раствора 2 мл соляной кислоты с концентрацией 0,8 моль/л рН изменится от 7,3 до 7,0.

*Ответ:*  $B = 0,107$  моль/л.

**142.** Рассчитайте буферную емкость ацетатного буфера, состоящего из 100 мл раствора с концентрацией ацетата натрия 0,1 моль/л и 100 мл раствора с концентрацией уксусной кислоты 0,1 моль/л, если к этому раствору добавить 50 мл раствора с концентрацией соляной кислоты 0,01 моль/л. Сколько мл раствора с концентрацией соляной кислоты 0,01 моль/л нужно добавить в систему, чтобы изменить рН буферного раствора на единицу?

*Ответ:*  $B_a = 0,0625$  моль/л/ед.рН;  $V(\text{HCl}) = 6250$  мл.

**143.** Буферная емкость по кислоте равна 40 ммоль/л. Какой объем раствора с молярной концентрацией серной кислоты 0,2 моль/л можно добавить к 150 мл этого буферного раствора, чтобы сместить рН на 0,5 ед.?

*Ответ:* 7,5 мл

**144.** Чему равна буферная емкость по основанию, если добавление 1,5 мл раствора с массовой долей гидроксида натрия 10% ( $\rho = 1,092$  г/мл) к 250 мл этого раствора вызвало изменение рН на 0,4 единицы.

*Ответ:*  $B_g = 0,041$  моль/л.

**145.** Рассчитайте растворимость  $\text{CaF}_2$  в воде (в г/л), если  $K_s(\text{CaF}_2) = 3,9 \cdot 10^{-11}$ .

*Ответ:*  $s = 0,0166$  г/л.

**146.** Рассчитайте массу карбоната кальция, находящуюся в его насыщенном растворе объемом 2,5 л.

*Ответ:*  $m(\text{CaCO}_3) = 0,015 \text{ г}$ .

**147.** Насыщенный при 25 °С водный раствор AgCl содержит  $1,34 \cdot 10^{-5}$  моль/л растворенного вещества. Вычислите  $K_s$  соли при указанной температуре.

*Ответ:*  $1,8 \cdot 10^{-10}$ .

**148.** В каком объеме насыщенного при 25 °С водного раствора  $\text{Ag}_2\text{CO}_3$  будет содержаться 0,1 моль этой соли, если при данной температуре  $K_s(\text{Ag}_2\text{CO}_3) = 1,2 \cdot 10^{-12}$ ?

*Ответ:*  $1,5 \text{ м}^3$ .

**149.** Сколько моль  $\text{Ag}_3\text{PO}_4$  содержится в 10 л его насыщенного при 25 °С водного раствора, если при данной температуре  $K_s(\text{Ag}_3\text{PO}_4) = 1,3 \cdot 10^{-20}$ ?

*Ответ:*  $4,68 \cdot 10^{-5}$  моль.

**150.** Какую массу  $\text{BaSO}_4$  можно растворить в 1 л воды при 25 °С? Объясните, почему в качестве рентгеноконтрастного вещества в медицине применяют сульфат бария, а не карбонат бария.

*Ответ:* 2,45 мг.

**151.** Одним из инициаторов образования раковых клеток в организме человека являются ионы кадмия(II). Определите содержание этих ионов в  $100 \text{ м}^3$  насыщенного водного раствора сульфида кадмия.

*Ответ:*  $m(\text{Cd}^{2+}) = 1,43 \cdot 10^{-3} \text{ г}$ .

**152.** Рассчитайте концентрацию (мг/л) ионов  $\text{Pb}^{2+}$  в водном растворе, насыщенном  $\text{PbCO}_3$  при 25 °С. Можно ли использовать его в пищевых целях, если ПДК иона  $\text{Pb}^{2+}$  составляет 0,05 мг/л?

*Ответ:*  $5,67 \cdot 10^2 \text{ мг/л}$ ; нельзя.

**153.** Выпадет ли осадок при 25 °С, если к 200 мл раствора  $\text{AgNO}_3$  с концентрацией 0,02 моль/л добавить 50 мл раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$  с концентрацией 1 моль/л?

*Ответ:* выпадет.

**154.** Рассчитайте, как изменится растворимость  $\text{CaCO}_3$  в 0,01М растворе  $\text{K}_2\text{CO}_3$  по сравнению с растворимостью в воде при той же температуре.  $K_s(\text{CaCO}_3) = 3,8 \cdot 10^{-9}$ .

*Ответ:* уменьшится в 163 раза.

**155.** Образуется ли осадок при смешении 2 л  $2,4 \cdot 10^{-5}$  М раствора  $\text{AgNO}_3$  и 1 л раствора  $\text{KBr}$  с равной концентрацией?

*Ответ:* осадок образуется.

**156.** В насыщенный раствор карбоната кальция ввели карбонат натрия до концентрации  $c(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,1$  моль/л. Вычислите массу карбоната кальция, находящегося в 2,5 л такого раствора.

*Ответ:*  $m(\text{CaCO}_3) = 9,5 \cdot 10^{-6}$  г; введение электролита, содержащего одноименный ион, понижает растворимость  $\text{CaCO}_3$  в  $1,6 \cdot 10^3$  раз.

**157.** Образуется ли осадок при смешивании насыщенного раствора  $\text{CaSO}_4$  с равным объемом раствора  $\text{SrCl}_2$  с концентрацией 0,001 моль/л?

*Ответ:*  $P_c(1,25 \cdot 10^{-6}) > K_s(3,2 \cdot 10^{-7})$ , осадок образуется.

**158.** Смешали 100 мл 2%-ного раствора сульфида калия ( $\rho = 1,02$  г/мл) и 150 мл 5%-ного раствора нитрата свинца(II) ( $\rho = 1,02$  г/мл). Выпадет ли осадок?

*Ответ:*  $P_c(6,86 \cdot 10^{-3}) > K_s(2,5 \cdot 10^{-27})$ , осадок образуется.

**159.** Какую массу хлорида кальция следует добавить к 10 мл водного раствора с концентрацией сульфита натрия 0,001 моль/л для образования осадка?

*Ответ:*  $m(\text{CaCl}_2) = 3,55 \cdot 10^{-3}$  г.

**160.** Выпадет ли осадок при смешивании 200 мл раствора с концентрацией сульфата цинка 0,02 моль/л с 600 мл раствора с концентрацией сульфида натрия 0,008 моль/л? Ответ подтвердите расчетом.

*Ответ:* осадок выпадет.

**161.** Во сколько раз растворимость (моль/л) гидроксида железа(II) в воде больше растворимости гидроксида железа(III) при 25 °С?

*Ответ:* в 34 000 раз.

**162.** Карбонат кадмия и карбонат серебра имеют приблизительно одинаковые константы растворимости. Сопоставьте их молярные растворимости в воде при 25 °С. Ответ поясните.

*Ответ:*  $s(\text{CdCO}_3) = 2,3 \cdot 10^{-6}$  моль/л,  
 $s(\text{Ag}_2\text{CO}_3) = 1,3 \cdot 10^{-4}$  моль/л.

**163.** Рассчитайте  $K_s(\text{PbBr}_2)$  при 25 °С, если растворимость соли при этой температуре равна  $1,32 \cdot 10^{-2}$  моль/л.

*Ответ:*  $9,2 \cdot 10^{-6}$ .

**164.** Из водного раствора требуется удалить ионы  $\text{S}^{2-}$ . В наличии имеются следующие электролиты:

- а) хлорид натрия,
- б) хлорид меди(II),
- в) нитрат серебра(I).

Какому электролиту и почему отдадите предпочтение?

*Ответ:* б.

**165.** С помощью расчетов докажите, что при смешивании насыщенного раствора сульфата кальция с равным объемом раствора с концентрацией хлорида стронция, равной 0,00001 моль/л, осадок не образуется.

*Ответ:*  $P_c < K_s$ .

**166.** Растворимость гидроксида стронция  $\text{Sr}(\text{OH})_2$  равна 0,524 г в 100 мл воды. Вычислите: а) молярную растворимость гидроксида стронция в воде (моль/л); б) произведение растворимости ( $K_s$ )  $\text{Sr}(\text{OH})_2$ .

*Ответ:*  $s = 0,0431$  моль/л;  $K_s = 3,20 \cdot 10^{-4}$  (моль/л)<sup>3</sup>.

**167.** Напишите выражение константы растворимости и выведите формулу для расчета растворимости малорастворимого электролита  $\text{CaSO}_4$ . В насыщенном растворе объемом 1 мл содержится 0,408 мг  $\text{CaSO}_4$ . Рассчитайте  $K_s(\text{CaSO}_4)$ .

*Ответ:*  $K_s(\text{CaSO}_4) = 8,97 \cdot 10^{-6}$ .

**168.** Константы растворимости  $\text{AgBrO}_3$  и  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$  равны соответственно  $5,5 \cdot 10^{-5}$  и  $2 \cdot 10^{-5}$ . Укажите правильное соотношение между растворимостями ( $s$ , моль/л) этих солей:

а)  $s(\text{AgBrO}_3) < s(\text{Ag}_2\text{SO}_4)$ ;

б)  $s(\text{AgBrO}_3) \approx s(\text{Ag}_2\text{SO}_4)$ ;

в)  $s(\text{AgBrO}_3) > s(\text{Ag}_2\text{SO}_4)$ .

Ответ подтвердите расчетами.

*Ответ:* а.

**169.** В какой последовательности будут выпадать осадки, если к раствору, содержащему ионы  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{I}^-$ ,  $\text{Br}^-$  (концентрации ионов равны), постепенно приливать раствор  $\text{AgNO}_3$ ? ( $K_s(\text{AgCl}) = 1,78 \cdot 10^{-10}$ ;  $K_s(\text{AgBr}) = 5,3 \cdot 10^{-13}$ ;  $K_s(\text{AgI}) = 8,3 \cdot 10^{-17}$ ). Как такой процесс называется? Ответ поясните.

*Ответ:*  $\text{AgI}$ ,  $\text{AgBr}$ ,  $\text{AgCl}$ ; конкурирующий.

**170.** Достаточно ли для очистки 10 л сточных вод от ионов ртути(II) (концентрация  $10^{-4}$  моль/л) 100 мл 0,1 М раствора сульфата натрия?

*Ответ:* недостаточно, т.к.  $P_c(\text{HgSO}_4) = 9,9 \cdot 10^{-8} < K_s(\text{HgSO}_4) = 6,8 \cdot 10^{-7}$ .

**171.** Рассчитайте, достигается ли бактерицидное действие иона серебра  $\text{Ag}^+$  ( $[\text{Ag}^+] = 10^{-9}$  г/л) в насыщенном растворе  $\text{AgCl}$ .  $K_s(\text{AgCl}) = 1,6 \cdot 10^{-10}$ .

*Ответ:* да.

**172.** Напишите выражения константы растворимости и выведите формулы для расчета растворимости малорастворимых электролитов  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  и  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ . Рассчитайте растворимость (в моль/л)  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  и  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  при 25 °С.

*Ответ:*  $s(\text{Fe}(\text{OH})_2) = 6,3 \cdot 10^{-6}$ ;  $s(\text{Fe}(\text{OH})_3) = 1,86 \cdot 10^{-10}$ .

**173.** Образуется ли осадок хлорида свинца, если к 0,2 М раствору нитрата свинца прибавить равный объем 0,3 М раствора хлорида натрия? Решите задачу с пояснениями.

*Ответ:* осадок образуется.

**174.** Растворимость  $\text{CaCO}_3$  при 35 °С равна  $6,9 \cdot 10^{-5}$  моль/л. Вычислите константу растворимости этой соли.

*Ответ:*  $K_s = 4,76 \cdot 10^{-9}$ .

**175.** Вычислите растворимость  $\text{CaCO}_3$  в дистиллированной воде, в 0,01 М растворе  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  и в 0,01 М растворе  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ .

*Ответ:*  $6,9 \cdot 10^{-5}$ ;  $4,76 \cdot 10^{-7}$ ;  $4,76 \cdot 10^{-7}$ .

**176.** Вычислите растворимость сульфата кальция в воде и в сантимольярном (0,01 М) растворе нитрата калия.

*Ответ:* растворимость  $\text{CaSO}_4$  в 0,01 М растворе  $\text{KNO}_3$  примерно в 2,22 раза выше, чем в воде.

**177.** Возможно ли взаимодействие оксалата кальция с бромной водой? Совмещение каких процессов при этом происходит? Рассчитайте общую константу равновесия. Каков аналитический эффект взаимодействия?

*Ответ:*  $K_{\text{равн}} = 2,3 \cdot 10^{44}$ , осадок растворится, раствор обесцветится.

**178.** Для указанных комплексных соединений:

- определите заряд внутренней сферы;
- определите степень окисления центрального атома;
- определите координационное число центрального атома;
- определите заряд лигандов и их дентатность:  
[Cr(NH<sub>3</sub>)<sub>6</sub>]SO<sub>4</sub>, K<sub>2</sub>[Zn(OH)<sub>4</sub>], K<sub>3</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>], [Fe(CO)<sub>5</sub>],  
[Pt(NH<sub>3</sub>)<sub>4</sub>Cl]Cl<sub>3</sub>, [Co(NH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>(NO<sub>2</sub>)<sub>3</sub>], [Cr(H<sub>2</sub>O)<sub>3</sub>Cl<sub>3</sub>].

**179.** С каким лигандом Zn<sup>2+</sup> образует более прочное соединение: глицин (1), лизин (2), гистидин (3), если  $K_{\text{н1}} = 1,1 \cdot 10^{-10}$ ,  $K_{\text{н2}} = 2,51 \cdot 10^{-8}$ ,  $K_{\text{н3}} = 1,32 \cdot 10^{-13}$ ?

*Ответ:* с гистидином.

**180.** Укажите тип гибридизации атомных орбиталей центральных атомов в комплексных соединениях и геометрическую конфигурацию комплексных ионов: [Co(NH<sub>3</sub>)<sub>6</sub>]<sup>3+</sup>; [Pt(NH<sub>3</sub>)<sub>4</sub>]<sup>2+</sup>; [Fe(CN)<sub>6</sub>]<sup>4-</sup>; [Ag(NH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>]<sup>+</sup>.

**181.** Определите заряды комплексных частиц и укажите среди них катионы, анионы и неэлектролиты: [Co(NH<sub>3</sub>)<sub>5</sub>Cl]; [Cr(NH<sub>3</sub>)<sub>4</sub>PO<sub>4</sub>]; [Ag(NH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>]; [Cr(OH)<sub>6</sub>]; [Co(NH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>(NO<sub>2</sub>)<sub>3</sub>]; [Cu(H<sub>2</sub>O)<sub>4</sub>].

**182.** Для приведенных комплексных соединений определите тип комплекса, заряд комплексообразователя, тип гибридизации его атомных орбиталей, пространственное строение:

- а)  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{NO}_3$ ; б)  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ; в)  $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]$ ;  
 г)  $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ ; д)  $\text{Na}_2[\text{Zn}(\text{OH})_4]$ ; е)  $[\text{Fe}(\text{CO})_5]$ .

*Ответ:* а) катионный, +1;  $sp$ , линейное;  
 б) анионный, +3;  $sp^3d^2$ , октаэдрическое;  
 в) нейтральный, +2;  $sp^2d$ , квадрат;  
 г) катионный, +2;  $sp^3$ , тетраэдрическое;  
 д) анионный, +2;  $sp^3$ , тетраэдрическое;  
 е) нейтральный, 0;  $sp^3d$ , тригональная бипирамида.

**183.** Запишите все процессы, протекающие в водных растворах следующих комплексных соединений:

- а) нитрата диаминсеребра(I);  
 б) сульфата тетраамминцинка(II);  
 в) гексацианоферрата(II) калия.

Напишите выражения констант нестойкости комплексов через равновесные концентрации иона-комплексобразователя и лиганда в растворе.

**184.** Напишите уравнения диссоциации комплексных соединений:  $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ ,  $\text{K}_2[\text{Hg}(\text{CN})_4]$ ,  $\text{K}_2[\text{Cu}(\text{CN})_4]$ ;  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_2$ , математическое выражение  $K_{\text{н}}$  и укажите, какой из комплексных ионов является наиболее прочным, пользуясь справочными данными.

**185.** В водном растворе находятся соединения  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{KI}$ ,  $\text{KCN}$ . Используя справочные данные, определите, какие комплексные соединения будут образовываться в первую очередь. Напишите в молекулярном и ионном видах уравнения реакций, назовите полученные вещества.

**186.** В аналитической и медицинской практике используется лиганд ЭДТА (этилендиаминтетраацетат) и его соль  $\text{Na}_2$  ЭДТА (трилон-Б). С какими катионами:  $\text{Co}^{3+}$  (1);  $\text{Mg}^{2+}$  (2);  $\text{Fe}^{2+}$  (3);  $\text{Fe}^{3+}$  (4), он образует менее прочное комплексное соединение? Расположить комплексы по убыванию их прочности.

$$K_{н1} = 2,51 \cdot 10^{-41}, K_{н2} = 7,59 \cdot 10^{-10},$$

$$K_{н3} = 6,31 \cdot 10^{-15}; K_{н4} = 5,89 \cdot 10^{-25}.$$

*Ответ:* (1) → (4) → (3) → (2).

**187.**  $K_{н}[\text{Ag}(\text{CN})_2]^- = 1,4 \cdot 10^{-20}$ . Вычислите концентрацию ионов серебра в 0,05М растворе  $K[\text{Ag}(\text{CN})_2]$ , содержащем, кроме того, 0,01 моль/л KCN.

*Ответ:*  $c(\text{Ag}^+) = 7 \cdot 10^{-18}$  моль/л.

**188.** Рассчитайте массу меди, находящейся в виде ионов в 1,5 л раствора глицината меди с концентрацией 0,008 моль/л при избытке глицина, равном 0,05 моль/л.

*Ответ:*  $m(\text{Cu}^{2+}) = 7,83 \cdot 10^{-14}$  г.

**189.** Медный купорос имеет формулу  $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4]\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ . На какие частицы он диссоциирует в водном растворе? Сколько нужно моль  $\text{BaCl}_2$  для осаждения сульфат-ионов из 0,1 моль купороса?

*Ответ:* 0,1 моль  $\text{BaCl}_2$ .

**190.** При выветривании медного купороса в первую очередь удаляется вода из внешней координационной сферы. На сколько граммов уменьшится первоначальная навеска 1 моль купороса при выветривании?

*Ответ:* на 18 г.

**191.** Определите концентрацию продуктов диссоциации комплексной соли  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  в 0,2 М растворе.

*Ответ:*  $c(\text{K}^+) = 0,6$  М;  $c(\text{Fe}^{3+}) = 1,1 \cdot 10^{-7}$  М;

$c(\text{CN}^-) = 6,6 \cdot 10^{-7}$  М;  $c([\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}) = 0,2$  М.

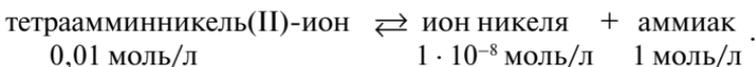
**192.** Растворится ли полностью 0,5 моль  $\text{Fe}(\text{CN})_2$  в 1 л 0,1 М раствора KCN с образованием  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ?

*Ответ:* нет.

**193.** К 500 мл раствора с концентрацией сульфата никеля(II), равной 0,2 моль/л, добавили избыток аммиака, концентрация которого после завершения реакции установилась в растворе равной 0,1 моль/л. Рассчитайте массу никеля, находящегося в виде ионов в этом растворе.

*Ответ:*  $m(\text{Ni}^{2+}) = 1,99 \cdot 10^{-3}$  г.

**194.** В каком направлении пойдет реакция при 298 К при следующих концентрациях:



Ответ подтвердите расчетом.

*Ответ:* реакция пойдет в обратном направлении.

**195.** Для комплексного иона  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$  выведите формулу, связывающую его константу нестойкости ( $K_{\text{нест.}}$ ) с равновесными концентрациями (моль/л) ионов  $\text{Ag}^+$  ( $x$ ) и молекул  $\text{NH}_3$  в растворе и начальной концентрацией комплекса ( $c_0$ , моль/л).

*Ответ:*  $K_{\text{нест.}} = \frac{4x^3}{c_0 - x}$ .

**196.** Рассчитайте равновесную концентрацию ионов  $\text{Ag}^+$  (моль/л) в 0,1 М водном растворе  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{NO}_3$  (в приближении, что равновесная концентрация комплекса равна начальной).

*Ответ:*  $1,3 \cdot 10^{-3}$  моль/л.

**197.** В каком из приведенных ниже комплексов (при одной и той же температуре) аммиак связан прочнее?

а)  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ ; б)  $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ .

*Ответ:* а.

**198.** Рассмотрите растворение комплекса  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$  в:

- а) воде;
- б) водном растворе аммиака;
- в) водном растворе  $\text{CuSO}_4$ .

Запишите все процессы. Одинаковая ли будет устойчивость комплекса (при одной и той же температуре) в этих трех случаях?

*Ответ:* по принципу Ле Шателье равновесие смещается влево.

**199.** Требуется максимально снизить концентрацию цианид-ионов в водном растворе. В наличии имеются:

- а) хлорид калия;
- б) хлорид железа(II);
- в) хлорид железа(III);
- г) нитрат серебра(I).

Какому электролиту отдадите предпочтение и почему?

*Ответ:* г.

**200.** Рассчитайте, как изменится концентрация ионов  $\text{Ag}^+$  в растворе, если растворять комплекс  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{NO}_3$  до концентрации 0,1 М не в воде, а в 1 М водном растворе аммиака. Будет ли разрушаться комплекс в последнем случае, если в раствор добавить хлорид натрия в соизмеримых с комплексом молярных количествах?

*Ответ:* уменьшится в  $1,4 \cdot 10^5$  раз; не будет.

**201.** Предложите возможные варианты разрушения комплексного иона  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$  с использованием:

- а) окислительно-восстановительных процессов;
- б) кислотно-основных взаимодействий;
- в) реакций комплексообразования;
- г) гетерогенных реакций.

**202.** Выпадет ли осадок галогенида серебра при прибавлении к 1 л 0,01 М раствора  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{NO}_3$ , содержащему 1 моль аммиака: а)  $1 \cdot 10^{-4}$  моль  $\text{KBr}$ ; б)  $1 \cdot 10^{-5}$  моль  $\text{KCl}$ ?

*Ответ:* в обоих случаях осадок не выпадет.

**203.** Пользуясь справочными данными  $K_{\text{II}}$  и  $K_3$ , рассчитайте, при какой концентрации сульфид-ионов начинает выпадать осадок сульфида-меди(II) из раствора с молярной концентрацией  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ , равной 0,05 моль/л, и содержащего 0,1 моль аммиака в 1 л раствора.

*Ответ:*  $1,15 \cdot 10^{-26}$ .

**204.** Какой из ионов:  $\text{Mg}^{2+}$  или  $\text{Ca}^{2+}$  полнее связывается ЭДТА при одинаковых условиях? Во сколько раз концентрация одного из ионов будет больше?

*Ответ:*  $c(\text{Mg}^{2+}) > c(\text{Ca}^{2+})$  в 5 раз.

**205.** Из раствора комплексной соли  $\text{CoCl}_3 \cdot 5\text{NH}_3$  нитрат серебра осаждает только  $2/3$  содержащегося в ней хлора. В растворе не обнаружено ионов кобальта и свободного аммиака. Измерение электрической проводимости раствора показывает, что соль распадается на три иона. Каково координационное строение этого соединения? Напишите уравнение электролитической диссоциации комплексной соли. Определите степень окисления центрального атома и дентатность лиганда.

*Ответ:* степень окисления +3; дентатность 1.

**206.** Определите, в каком направлении могут самопроизвольно протекать реакции. Ответ поясните. Рассчитайте значение ЭДС:

1)  $\text{FeCl}_3 + \text{KI} \rightleftharpoons \text{FeCl}_2 + \text{KCl} + \text{I}_2$ , если

$$\varphi^\circ(\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}) = +0,77 \text{ В}; \quad \varphi^\circ(\text{I}_2/2\text{I}^-) = +0,54 \text{ В}.$$

2)  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{NaCl} \rightleftharpoons \text{FeSO}_4 + \text{Cl}_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4$ , если

$$\varphi^\circ(\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}) = +0,77 \text{ В}; \quad \varphi^\circ(\text{Cl}_2/2\text{Cl}^-) = +1,36 \text{ В}.$$

- 3)  $\text{SnCl}_2 + \text{FeCl}_3 \rightleftharpoons \text{SnCl}_4 + \text{FeCl}_2$ , если  $\varphi^\circ(\text{Sn}^{4+}/\text{Sn}^{2+}) = +0,15\text{ В}$ ;  $\varphi^\circ(\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}) = +0,77\text{ В}$ .
- 4)  $2\text{Mn}^{2+} + 5\text{Br}_2 + 8\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{MnO}_4^- + 10\text{Br}^- + 16\text{H}^+$ , если  $\varphi^\circ(\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}) = +1,51\text{ В}$ ;  $\varphi^\circ(\text{Br}_2/2\text{Br}^-) = +1,06\text{ В}$ .
- 5)  $\text{Mn}^{2+} + \text{NO}_3^- \rightleftharpoons \text{MnO}_4^- + \text{NO}_2^-$ , если  $\varphi^\circ(\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-) = +0,83\text{ В}$ ;  $\varphi^\circ(\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}) = +1,51\text{ В}$ .
- 6)  $\text{PbO}_2 + \text{KI} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightleftharpoons \text{I}_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{PbSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ , если  $\varphi^\circ(\text{I}_2/2\text{I}^-) = +0,54\text{ В}$ ;  $\varphi^\circ(\text{PbO}_2/\text{Pb}^{2+}) = +1,68\text{ В}$ .
- 7)  $\text{KF} + \text{FeCl}_3 \rightleftharpoons \text{F}_2 + \text{FeCl}_2 + \text{KCl}$ , если  $\varphi^\circ(\text{F}_2/2\text{F}^-) = +2,87\text{ В}$ ;  $\varphi^\circ(\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}) = +0,77\text{ В}$ .
- 8)  $\text{NaNO}_2 + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightleftharpoons \text{NaNO}_3 + \text{MnSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ , если  $\varphi^\circ(\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-) = +0,83\text{ В}$ ;  $\varphi^\circ(\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}) = +1,51\text{ В}$ .

**207.** Обоснуйте возможность протекания следующих реакций в стандартных условиях, используя табличные данные (значение стандартных редокс-потенциалов). Закончите уравнения реакций, подберите коэффициенты электронным или ионно-электронным методом. В каком направлении они протекают?

1.  $\text{HI} + \text{HNO}_2 \rightleftharpoons \text{I}_2 + \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$ .
2.  $\text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightleftharpoons \text{O}_2 + \text{MnSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ .
3.  $\text{KMnO}_4 + \text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightleftharpoons \text{MnSO}_4 + \dots$
4.  $\text{KMnO}_4 + \text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{MnO}_2 + \dots$
5.  $\text{KMnO}_4 + \text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{KOH} \rightleftharpoons \text{K}_2\text{MnO}_4 + \dots$
6.  $\text{KI} + \text{FeCl}_3 \rightleftharpoons \text{I}_2 + \text{KCl} + \text{FeCl}_2$ .
7.  $\text{FeSO}_4 + \text{I}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightleftharpoons \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \dots$
8.  $\text{Fe}^{2+} + \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + \text{H}^+ \rightleftharpoons \text{Cr}^{3+} + \text{Fe}^{3+} + \dots$
9.  $\text{KMnO}_4 + \text{KNO}_2 + \text{KOH} \rightleftharpoons \text{KNO}_3 + \text{K}_2\text{MnO}_4 + \dots$
10.  $\text{Pb}^{2+} + \text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O}_2 \rightleftharpoons \text{PbO}_2 + 2\text{Cl}^-$ .
11.  $\text{NaClO} + \text{Pb}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{PbO}_2 + \dots$

**208.** Определите, можно ли окислить медь концентрированными и разбавленными растворами азотной кислоты, если  $\varphi^\circ(\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}) = +0,34 \text{ В}$ ;  $\varphi^\circ(\text{NO}_3^-/\text{NO}_2) = 0,80 \text{ В}$ ;  $\varphi^\circ(\text{NO}_3^-/\text{NO}) = +0,96 \text{ В}$ . Ответ поясните, напишите уравнения реакций, укажите протекающие на электродах процессы, рассчитайте значение ЭДС.

*Ответ:* окислить можно и концентрированным, и разбавленным растворами азотной кислоты.  $E_1 = 0,46$ ;  $E_2 = 0,62$ .

**209.** Бромная вода – часто используемый в лабораторной практике реактив. Какие из нижеперечисленных ионов можно окислить бромной водой: а) золота(I); б) олова(II); в) кобальта(II); г) меди(I)? Ответ подтвердите расчетом, сделанным для стандартного состояния.

*Ответ:* бромной водой можно окислить ионы олова(II) и кобальта(II).

**210.** Будет ли протекать окисление нитрит-иона перманганатом калия при  $T = 298 \text{ К}$  и  $\text{pH} = 6,0$ , если  $c(\text{NO}_3^-) = c(\text{NO}_2^-) = c(\text{MnO}_4^-) = c(\text{Mn}^{2+}) = 0,1 \text{ моль/л}$ ?

*Ответ:*  $E = 0,456 \text{ В}$ , т.е.  $E > 0$ , реакция протекает самопроизвольно.

**211.** Можно ли для окисления в стандартных условиях галогенид-ионов  $\text{I}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{F}^-$  использовать ионы  $\text{Fe}^{3+}$ ?

*Ответ:* для  $\text{I}^-$  можно, для  $\text{Br}^-$  и  $\text{F}^-$  нельзя.

**212.** Можно ли нитрит-ионы восстановить ионами  $\text{Br}^-$ ?  
 Ответ подтвердите расчетами.

*Ответ:* нельзя.

**213.** Определите, какая из реакций пойдет в первую очередь в кислой среде при добавлении  $\text{KMnO}_4$  к смеси  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  и  $\text{NaNO}_2$ . Ответ подтвердите расчетами.

*Ответ:* с  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ .

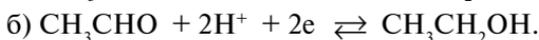
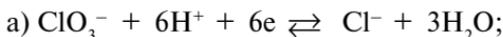
**214.** Сравните окислительную способность озона и кислорода по отношению к нейтральному водному раствору йодида калия. Ответ подтвердите расчетами.

*Ответ:* ионы  $I^-$  окисляются озоном, но не окисляются кислородом.

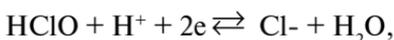
**215.** Содержащиеся в растениях нитраты могут восстанавливаться в нитриты и реагировать в желудке с входящими в состав пищевых продуктов вторичными аминами с образованием сильных канцерогенов – нитрозаминов. Определите, могут ли *in vivo* нитрат-анионы восстанавливаться аскорбиновой кислотой с образованием нитрит-анионов.

*Ответ:* аскорбиновая кислота восстанавливает нитрат-ионы с образованием нитрит-анионов.

**216.** Запишите уравнение Нернста–Петерса для указанных ниже окислительно-восстановительных пар при 25 °С.



**217.** Рассчитайте потенциал системы:



если концентрации (моль/л) компонентов реакционной смеси равны:  $[Cl^-] = 0,2$ ;  $[HClO] = 0,6$ ;  $[H^+] = 0,01$ ;  $t = 25$  °С.

*Ответ:* 1,46 В.

**218.** Рассчитайте редокс-потенциал ОВ-электрода Pt/ $MnO_4^-$ ,  $H^+$ ,  $Mn^{2+}$  при рН = 2,0, если концентрации окисленной и восстановленной форм равны, соответственно, 0,01 и 0,0001 моль/л.  $T = 298$  К.

*Ответ:* 1,35 В.

**219.** Редокс-потенциал системы НАДФ<sup>+</sup>/НАДФН при 298 К и рН=7 равен -0,3 В. Как надо изменить рН, чтобы редокс-

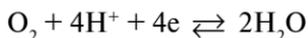
потенциал стал численно равным формальному редокс-потенциалу этой системы  $\varphi^{\circ} = -0,324 \text{ В}$ ?

*Ответ:*  $\text{pH} = 7,41$ .

**220.** При каком соотношении окисленной и восстановленной форм в системе  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-} + 1e \rightleftharpoons [\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$  потенциал будет равен  $0,28 \text{ В}$ ?

*Ответ:*  $44:1000$ .

**221.** Рассчитайте формальный потенциал ( $\varphi^{\circ}$ ) системы



в биологических условиях:  $\text{pH} = 7,4$ ,  $t = 37 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $[\text{O}_2] = [\text{H}_2\text{O}] = 1 \text{ моль/л}$ .

*Ответ:*  $0,78 \text{ В}$ .

**222.** Дан электрод  $\text{Pt}/\text{Sn}^{4+}, \text{Sn}^{2+}$ .  $c(\text{SnCl}_4) = 0,01 \text{ М}$ ;  $c(\text{SnCl}_2) = 0,001 \text{ М}$ ,  $T = 298 \text{ К}$ . Принять коэффициент активности  $\gamma$  равным 1. Определите тип электрода и его потенциал.

*Ответ:* ОВ-электрод,  $\varphi(\text{Sn}^{4+}/\text{Sn}^{2+}) = 0,179 \text{ В}$ .

**223.** Вычислите теоретическое значение редокс-потенциала для системы, содержащей по  $10 \text{ мл}$  растворов гексацианоферрата(III) калия и гексацианоферрата(II) калия с концентрациями  $0,01 \text{ моль/л}$  и  $0,05 \text{ моль/л}$ ,  $T = 298 \text{ К}$ .

*Ответ:*  $\varphi_r = 0,315 \text{ В}$ .

**224.** В растворе концентрация гексацианохромат(III)-ионов в три раза превышает концентрацию гексацианохромат(II)-иона. Чему равен редокс-потенциал этой системы?  $T = 298 \text{ К}$ .

*Ответ:*  $\varphi_r = -1,25 \text{ В}$ .

**225.** Концентрации ацетат- и пируват-ионов в системе равны между собой. Чему станет равным редокс-потенциал этой биологической редокс-системы при  $\text{pH} = 6$  и  $\text{pH} = 8$ ?  $T = 298 \text{ К}$ ?

*Ответ:* при  $\text{pH} = 6$   $\varphi_r = -0,64 \text{ В}$ ; при  $\text{pH} = 8$   $\varphi_r = -0,76 \text{ В}$ .

**226.** Формальный редокс-потенциал системы  $\text{НАД}^+/\text{НАДН} + \text{H}^+$  равен  $-0,320$  В. Вычислите редокс-потенциал при восстановлении 15%  $\text{НАД}^+$ .  $T = 298$  К.

*Ответ:*  $\varphi_r = -0,324$  В.

**227.** В ходе биологического окисления протекает следующая реакция:  $\text{НАД}-\text{H} + \text{H}^+ + \text{ФП} + 2e \rightleftharpoons \text{ФПН}_2 + \text{НАД}^+$ . Редокс-потенциал пары  $\text{НАД}^+/\text{НАДН} + \text{H}^+$  равен  $-0,32$  В при  $\text{pH} = 7,0$ , а пары  $\text{ФП}/\text{ФПН}_2$  равен  $-0,060$  В.  $T = 298$  К. Найдите величину  $\Delta G'$  реакции и укажите, на что расходуется выделяемая энергия.

*Ответ:*  $\Delta G'_{\text{р-ции}} = -50,2$  кДж, выделяемая энергия в митохондриях расходуется на синтез АТФ.

**228.** На основе значений формальных потенциалов редокс-систем  $\text{НАД}^+/\text{НАДН} + \text{H}^+$  и  $\text{ФП}/\text{ФПН}_2$  рассчитайте константу равновесия реакции:  $\text{НАД}-\text{H} + \text{H}^+ + \text{ФП} + 2e \rightleftharpoons \text{ФПН}_2 + \text{НАД}^+$ , протекающей в ходе биологического окисления при  $37^\circ\text{C}$ . Оцените результат.

*Ответ:*  $6,3 \cdot 10^8$ . Равновесие смещено вправо.

**229.** Рассчитайте количество вещества цитохрома  $c_1$  в окисленной форме, которое может образоваться из соответствующей восстановленной формы за счет энергии, освобождаемой при окислении глюкозы в количестве 1 моль при с.у.

*Ответ:*  $n_{(\text{цитохром } c_1)} = 0,14$  моль.

**230.** Вычислите диффузионный потенциал, возникающий на границе  $0,01\text{M}$  и  $0,001\text{M}$  растворов  $\text{KBr}$  при  $25^\circ\text{C}$ , если  $u^\circ(\text{K}^+) = 7,62 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ ,  $u^\circ(\text{Br}^-) = 8,12 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ .

*Ответ:*  $\varphi_d = -0,0018$  В.

**231.** Определите значение мембранного потенциала при  $t = 37^\circ\text{C}$ , если концентрация ионов  $\text{K}^+$  внутри клетки в 20 раз больше, чем снаружи.

*Ответ:*  $\varphi_m = -0,08$  В.

**232.** Мембранный потенциал нервной клетки составил  $-80$  мВ при  $310$  К. Концентрация ионов калия внутри клетки составила  $150$  ммоль/л. Чему равна концентрация ионов калия во внеклеточной жидкости?

*Ответ:*  $7,5$  ммоль/л.

**233.** Вычислите значение протонного потенциала, возникающего на клеточной мембране, проницаемой только для ионов водорода, если внутри клеток  $\text{pH} = 7$ , а в наружной среде  $\text{pH} = 7,4$ . Температура опыта  $37$  °С.

*Ответ:*  $-0,025$  В

**234.** Определите величину потенциала серебряного электрода в  $0,1$  М растворе  $\text{AgNO}_3$ , если  $\gamma(\text{Ag}^+) = 0,734$ ,  $T = 298$  К.

*Ответ:*  $\varphi(\text{Ag}^+/\text{Ag}) = 0,733$  В.

**235.** Потенциал медного электрода, помещенного в раствор его соли, составил  $+0,32$  В,  $T = 298$  К. Вычислите активность ионов  $\text{Cu}^{2+}$ .

*Ответ:*  $a(\text{Cu}^{2+}) = 0,096$  моль/л.

**236.** Потенциал марганцевого электрода, помещенного в раствор его соли, составил  $-1,2$  В. Вычислите активность ионов  $\text{Mn}^{2+}$  при  $T = 298$  К.

*Ответ:*  $a(\text{Mn}^{2+}) = 0,194$  моль/л.

**237.** Вычислите ЭДС серебряно-кадмиевого гальванического элемента, в котором активности ионов  $\text{Ag}^+$  и  $\text{Cd}^{2+}$  соответственно равны  $0,1$  и  $0,005$  моль/л. Напишите уравнение реакции, протекающей при работе данного гальванического элемента, вычислите изменение энергии Гиббса и составьте схему гальванического элемента.  $T = 298$  К.

*Ответ:*  $E = 0,81$  В;  $\Delta G = -156,3$  кДж/моль.

**238.** Вычислите активность ионов водорода в растворе, в котором потенциал водородного электрода равен  $-82$  мВ.  $T = 298$  К.

*Ответ:*  $a(\text{H}^+) = 0,04$  моль/л.

**239.** Для определения рН желчи (из желчного пузыря) была составлена цепь из водородного и хлорсеребряного электродов, ЭДС которой оказалась равной  $0,577$  В при  $T = 298$  К. Концентрация электролита в электроде сравнения равна  $1$  моль/л. Определите рН пузырной желчи.

*Ответ:* рН(желчи) =  $5,75$ , что соответствует норме.

**240.** Для измерения рН сока поджелудочной железы была составлена гальваническая цепь из водородного и каломельного (насыщенного) электродов. Измеренная при  $30$  °С ЭДС составила  $707$  мВ. Вычислите рН сока поджелудочной железы и приведите схему гальванической цепи.

*Ответ:*  $7,77$  В (в норме).

**241.** Для измерения рН слезной жидкости составили гальваническую цепь из водородного и каломельного электродов, ЭДС которой оказалась равной  $0,764$  В при  $T = 298$  К. Концентрация электролита в электроде сравнения равна  $0,1$  моль/л. Определите рН и концентрацию ионов водорода в слезной жидкости.

*Ответ:* рН =  $7,24$ ;  $a(\text{H}^+) = 5,8 \cdot 10^{-8}$  моль/л.

**242.** Гальванический элемент составлен из двух водородных электродов, погруженных в растворы ацетата натрия и хлорида аммония с концентрациями по  $1,0$  моль/л. Вычислите ЭДС цепи при  $298$  К.

*Ответ:*  $E = 0,280$  В.

**243.** Гальванический элемент составлен из медного электрода, погруженного в  $10^{-2}$  М раствор сульфата меди, и цинкового электрода, погруженного в  $10^{-3}$  М раствор сульфата цинка. При-

ведите электрохимическую схему записи элемента, напишите электродные процессы и окислительно-восстановительную реакцию, протекающую при самопроизвольной работе элемента. Рассчитайте его ЭДС.

*Ответ:* 1,13 В.

**244.** Приведите электрохимическую схему записи хлорсеребряного электрода. Вычислите потенциал хлорсеребряного электрода, заполненного  $10^{-2}$  М раствором хлорида калия.

*Ответ:* 0,34 В.

**245.** Вычислите потенциал серебряного электрода, опущенного в насыщенный раствор AgI ( $K_s(\text{AgI}) = 8,3 \cdot 10^{-17}$ ).  $T = 298$  К.

*Ответ:*  $\varphi(\text{Ag}^+/\text{Ag}) = 0,33$  В.

**246.** ЭДС гальванического элемента, составленного из двух водородных электродов, погруженных, соответственно, один — в раствор хлороводорода с концентрацией  $10^{-2}$  моль/л, другой — в мочу, равняется 354 мВ. Рассчитайте кислотность (рН) мочи. Приведите электрохимическую схему записи элемента.

*Ответ:* 8,0.

**247.** Активная концентрация хлорид-ионов в моче равна  $2 \cdot 10^{-2}$  моль/л. Определите ЭДС гальванического элемента с хлорид-селективным электродом, погруженным в исследуемый образец мочи, если потенциал электрода сравнения составляет 253 мВ.

*Ответ:* 353 мВ.

**248.** ЭДС элемента Pt,  $\text{H}_2/\text{NH}_4\text{OH}$ ,  $\text{NH}_4\text{Cl} \parallel \text{KCl}$ ,  $\text{AgCl}/\text{Ag}$  равна 0,746 В при 25 °С. Определите рН и соотношение концентраций компонентов, входящих в состав аммиачной буферной системы.  $\varphi(\text{xc}) = 0,201$  В,  $\text{p}K(\text{NH}_4\text{OH}) = 4,76$ .

*Ответ:* рН(буфера) = 9,24; соотношение концентраций компонентов буферной системы равно 1.

**249.** Рассчитайте потенциал водородного электрода при 25 °С в буферном растворе, приготовленном из 500 мл 0,1М раствора  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  и 350 мл 0,05М раствора  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{p}K(\text{H}_2\text{PO}_4^-) = 7,2$ .

*Ответ:*  $\varphi(2\text{H}^+/\text{H}_2) = -0,452 \text{ В}$ .

**250.** Можно ли совмещать в ротовой полости протезы, приготовленные из нержавеющей стали и золота? Составьте схему гальванического элемента и покажите его работу в нейтральной слюне, обогащенной кислородом. Рассчитайте ЭДС.

$\varphi^\circ(\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}) = -0,44 \text{ В}$ ;  $\varphi^\circ(\text{Au}^{3+}/\text{Au}) = 1,498 \text{ В}$ .

*Ответ:*  $E = 0,841 \text{ В}$ .

**251.** Рассмотрите коррозионные свойства зубных протезов, изготовленных из сплава Pd с Ag в слюне с  $\text{pH} = 6$ , содержащей растворенный кислород. Рассчитайте ЭДС.

$\varphi^\circ(\text{Pd}^{2+}/\text{Pd}) = +0,99 \text{ В}$ ;  $\varphi^\circ(\text{Ag}^+/\text{Ag}) = +0,8 \text{ В}$ .

*Ответ:*  $E = 0,075 \text{ В}$ .

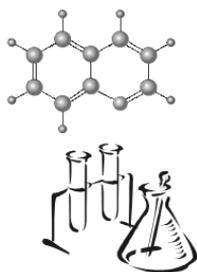
**252.** Рассмотрите коррозионные свойства зубных протезов, изготовленных из сплава золота и меди, в нейтральной слюне, содержащей растворенный кислород. Рассчитайте ЭДС.

$\varphi^\circ(\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}) = +0,337 \text{ В}$ ;  $\varphi^\circ(\text{Au}^{3+}/\text{Au}) = +1,498 \text{ В}$ ;

$\varphi^\circ(\text{O}_2, 2\text{H}_2\text{O}/4\text{OH}^-) = +0,401$ .

Почему на золотых протезах появляются налеты?

*Ответ:*  $E = 0,064 \text{ В}$ .



## МОДУЛЬ

### «ПОВЕРХНОСТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ. ДИСПЕРСНЫЕ СИСТЕМЫ. РАСТВОРЫ ВМС»

#### Основные понятия, законы, параметры, используемые для характеристики поверхностных явлений, коллоидных растворов и растворов ВМС

Параметр	Обозначение, единицы измерения	Смысловое значение
Свободная поверхностная энергия	$G_s, \text{Дж}$ $G_s = \sigma \cdot S$ $G_s \rightarrow \min$	Термодинамическая функция, характеризующая энергию межмолекулярного взаимодействия частиц на поверхности раздела фаз с частями каждой из контактирующих фаз
Удельная свободная по- верхностная энергия или поверхностное натяжение	$\sigma, \text{Дж/м}^2$ $\sigma = \frac{G}{S}$	Удельная свободная поверхностная энергия, характеризующая энергию межфазного взаимодействия единицы площади поверхности раздела фаз
Поверхностное натяжение жидкости	$\sigma_{\text{ж}} = \sigma_0 \frac{n_0}{n_{\text{ж}}}$ , $\sigma_{\text{ж}} = \sigma_0 \frac{m_{\text{ж}} n_0}{m_0 n_{\text{ж}}}$ ,	Поверхностное натяжение жидкости – другое название удельной свободной поверхностной энергии.

Параметр	Обозначение, единицы измерения	Смысловое значение
	$\sigma_{\text{ж}} = \sigma_0 \frac{\rho_{\text{ж}} n_0}{\rho_0 n_{\text{ж}}},$ <p>где <math>\sigma_0</math> – поверхностное натяжение воды;  <math>n_0</math> – число капель воды;  <math>n_{\text{ж}}</math> – число капель жидкости; <math>m_0</math> – масса воды;  <math>m_{\text{ж}}</math> – масса жидкости;  <math>\rho_0</math> – плотность воды;  <math>\rho_{\text{ж}}</math> – плотность жидкости</p>	Приведенные формулы используются для расчета поверхностного натяжения стагагмометрическим методом
Работа адгезии	$W_{\text{а}} = \sigma_{\text{ж/г}} \cdot (1 + \cos\theta), \text{ Дж/м}^2$	Работа, затрачиваемая на отрыв молекул одной фазы от молекул другой фазы
Работа когезии	$W_{\text{с}} = 2\sigma, \text{ Дж/м}^2$	Энергия, которую нужно затратить на разрыв сил сцепления между молекулами данной фазы
Закон Генри	$c(X) = k \cdot p(X),$ <p>где <math>c(X)</math> – концентрация газа в жидкости, моль/л;  <math>p(X)</math> – парциальное давление газа в смеси, Па;  <math>k</math> – константа абсорбционного равновесия;  <math>p(X) = p_{(\text{общ})} \cdot n(X).</math></p>	При постоянной температуре абсорбция газа в единице объема жидкости прямо пропорциональна парциальному давлению этого газа в газовой смеси над жидкостью
Удельная адсорбция	$\Gamma = \frac{n}{A}, \text{ моль/м}^2$ $\Gamma = \frac{n}{m}, \text{ моль/г}$ <p>или в другой форме</p> $\Gamma = \frac{X}{m}, \text{ моль/г, где}$ <p><math>X</math> – другой вариант обозначения количества вещества</p>	Равновесное количество поглощаемого вещества, приходящееся на единицу поверхности раздела фаз или на единицу массы твердого адсорбента

Параметр	Обозначение, единицы измерения	Смысловое значение
Относительная адсорбция на подвижной поверхности раздела фаз (уравнение Гиббса)	$\Gamma = -\frac{c}{RT} \cdot \frac{d\sigma}{dc}$	Величина, аналогичная абсолютной адсорбции, отражает зависимость между поверхностной концентрацией адсорбируемого вещества и его концентрацией в объеме раствора
Поверхностная активность	$g = -d\sigma/dc / c \rightarrow \theta,$ $g = -\Delta\sigma/\Delta c / c \rightarrow \theta,$ Дж·м/моль или гиббс	Способность растворенных веществ изменять поверхностное натяжение растворителя
Изотермы адсорбции	$\Gamma = \Gamma_{\infty} \frac{c}{a+c}, \quad (1)$ где $\Gamma$ – величина адсорбции; $\Gamma_{\infty}$ – предельная адсорбция; $c$ – равновесная концентрация адсорбата; $a$ – величина, обратная константе адсорбционного равновесия. $\Gamma = k \cdot c^{1/n}, \quad (2)$ если $n > 1$ $\Gamma = k \cdot c^n, \text{ если } n < 1,$ где $k$ и $n$ – эмпирические константы Фрейндлиха	Зависимости между величиной адсорбции и концентрацией раствора при достижении адсорбционного равновесия в условиях постоянной температуры, выражаются уравнениями Ленгмюра (1) и Фрейндлиха (2). При адсорбции газов и паров вместо концентрации ( $c$ ) в уравнениях используется парциальное давление газа или пара ( $p$ )
Адсорбция из раствора на твердом адсорбенте	$\Gamma = \frac{(c_0 - c_{\text{равн}}) \cdot V_{\text{р-ра}}}{m},$ моль/г	Количество вещества, адсорбированного данной массой адсорбента
Степень адсорбции	$h = \frac{c_0 - c_{\text{равн}}}{c_0} \cdot 100\%$	Показывает, какая часть вещества подверглась адсорбции

Параметр	Обозначение, единицы измерения	Смысловое значение
Правило Дюкло – Траубе	$\frac{g_{n+1}}{g_n} = 3,0 - 3,5$	Поверхностная активность ПАВ в гомологическом ряду возрастает при обычных условиях в 3,0–3,5 раза при удлинении углеводородного радикала на одну –CH <sub>2</sub> – группу
Правило Панета – Фаянса – Пескова	–	На поверхности кристалла преимущественно будут адсорбироваться те ионы, которые входят в состав кристаллической решетки адсорбента или изоморфны (сходны) им по строению
Мицелла лиофобной системы	$\text{AgNO}_3 + \text{KI}_{\text{изб}} =$ $= \text{AgI} \downarrow + \text{KNO}_3$ $\{m\text{AgI} \cdot n\text{I}^- \cdot (n-x)\text{K}^+\}^{x-} \cdot x\text{K}^+$	Гетерогенная микросистема, которая состоит из микрокристалла дисперсной фазы, окруженного сольватированными ионами стабилизатора
Межфазный потенциал	$\Phi_{\text{мф}}$	Потенциал ДЭС на границе раздела между твердой и жидкой фазами в мицелле
Электрокинетический потенциал	$\xi$ -потенциал (дзета-потенциал)	Потенциал на границе скольжения между адсорбционной и диффузионной частями ДЭС мицеллы

Параметр	Обозначение, единицы измерения	Смысловое значение
Порог коагуляции	$c_{\text{пк}} = \frac{c_{\text{эл}} \cdot V_{\text{эл}}}{V_{\text{кол. р-ра}} + V_{\text{эл}}}$ , где $c_{\text{эл}}$ – исходная концентрация р-ра электролита; $V_{\text{эл}}$ – объем р-ра электролита, добавленного к кол. р-ру; $V_{\text{кол. р-ра}}$ – объем кол. р-ра При $V_{\text{кол. р-ра}} \gg V_{\text{эл}}$ справедлива формула: $c_{\text{пк}} = \frac{c_{\text{эл}} \cdot V_{\text{эл}}}{V_{\text{кол. р-ра}}}$	Минимальное количество электролита, вызывающее явную коагуляцию коллоидного раствора
Коагулирующее действие (коагулирующая способность) электролита	$\gamma = \frac{1}{c_{\text{пк}}}$ $c_{\text{пк}} \sim \frac{1}{z^6}$ ; $\gamma \sim z^6$ , где $z$ – заряд коагулирующего иона	Величина, обратная порогу коагуляции. Коагулирующее действие иона-коагулянта прямо пропорционально его заряду в шестой степени
Правило Шульце – Гарди	Значения порогов коагуляции, вызываемой электролитами с зарядами противоионов 1, 2, 3 относятся как: $1:(1/2)^6:(1/3)^6$ . $\gamma(\text{Na}^+) : \gamma(\text{Ca}^{2+}) : \gamma(\text{Al}^{3+}) = 1 : 64 : 729.$	Коагуляцию вызывают ионы, имеющие заряд, противоположный заряду гранулы коллоидной частицы; коагулирующее действие ионов-коагулянтов возрастает с увеличением их заряда
Защитное число («железное», «золотое», «рубиновое» и др.)	S или з.ч. $S = \frac{c(\text{ВМС}) \cdot V(\text{ВМС})}{V(\text{золя})}$ , г/л	Защитное число – число миллиграммов ВМС, которое необходимо добавить к 10 мл стандартного золя для того, чтобы предотвратить его коагуляцию при введении 1 мл 10%-ного

Параметр	Обозначение, единицы измерения	Смысловое значение
Количественное выражение способности ВМС защищать золи от коагуляции		раствора хлорида натрия. При использовании в качестве стандартного золя (золь золота) защитное число называют «золотым», золь железа – «железным» и т.д. Чем меньше полимера требуется для защиты, тем выше его защитная способность по отношению к данному золю
Вязкость раствора	$\eta$ , Па·с	Свойство жидкостей оказывать сопротивление перемещению одной их части относительно другой при различных видах деформации
Набухание ВМС	$a = \frac{m - m_0}{m_0} \cdot 100\%$ <p>где <math>a = \frac{V - V_0}{V_0} \cdot 100\%</math>,</p> <p><math>m_0</math> – начальная масса, <math>V_0</math> – начальный объем образца ВМС, <math>m</math>, <math>V</math> – масса и объемом набухшего образца ВМС</p>	Процесс проникновения растворителя в полимерное вещество, сопровождаемый увеличением объема и массы образца, количественно характеризуется степенью набухания $\alpha$
Осмотическое давление растворов ВМС <i>Уравнение Галлера</i>	$P_{\text{осм}} = \frac{c \cdot R \cdot T}{M} + \beta \cdot c^2,$ <p>где <math>c</math> – массовая концентрация ВМС в растворе (г/л, кг/м<sup>3</sup>); <math>M</math> – средняя молярная масса ВМС; <math>\beta</math> – коэффициент, учитывающий гибкость и форму макромолекул</p>	Экспериментально определенное осмотическое давление для раствора ВМС заданной концентрации значительно превышает вычисленное по закону Вант-Гоффа, что связано с размером и гибкостью цепей макромолекул, которые ведут себя в растворе как несколько более коротких молекул

Параметр	Обозначение, единицы измерения	Смысловое значение
Вискозиметрия. Относительная вязкость раствора	$\eta_{\text{отн}} = \eta(\text{H}_2\text{O}) \frac{\tau_{\text{р-ра}} \cdot \rho_{\text{р-ра}}}{\tau(\text{H}_2\text{O}) \cdot \rho(\text{H}_2\text{O})}$	Вискозиметрия – совокупность методов измерения вязкости жидкостей и газов. Вискозиметры бывают капиллярными, ротационными, с падающим шариком и других типов. Принцип действия капиллярных вискозиметров основан на подсчёте времени протекания заданного объёма жидкости через узкое отверстие или трубку при заданной разнице давлений
Относительная вязкость	$\eta_{\text{отн}} = \frac{\eta}{\eta_0} = \frac{\tau}{\tau_0}$	Отношение вязкости раствора ВМС к вязкости растворителя
Удельная вязкость	$\eta_{\text{уд}} = \frac{\eta - \eta_0}{\eta_0} = \frac{\tau - \tau_0}{\tau_0}$	Показывает, насколько увеличилась вязкость раствора ВМС по сравнению с вязкостью растворителя
Приведенная вязкость	$\eta_{\text{пр}} = \frac{\eta_{\text{уд}}}{c}$	Отношение удельной вязкости к концентрации раствора ВМС
Характеристическая вязкость	$[\eta] = \lim_{c \rightarrow 0} \frac{\eta_{\text{уд}}}{c}$	Определяется по графику зависимости “ $\eta_{\text{пр}}$ ” – “ $c$ ” экстраполяцией на $c = 0$
Уравнение Марка – Хаувинка	$[\eta] = k\bar{M}^\alpha$ $\lg[\eta] = \lg k + \alpha \lg \bar{M}$ $\lg \bar{M} = \frac{\lg[\eta] - \lg k}{\alpha},$	Устанавливает связь между характеристической вязкостью и молекулярной массой ВМС

Параметр	Обозначение, единицы измерения	Смысловое значение
	где $\bar{M}$ – средняя молекулярная масса ВМС; $k$ – коэффициент, постоянный для растворов ВМС одного гомологического ряда в данном растворителе; $\alpha$ – коэффициент, характеризующий гибкость цепей макромолекул в растворе и их форму в зависимости от конформации	
Онкотическое давление крови	$\pi_{\text{онк}}$ (2,5–4,0 кПа в норме)	Осмотическое давление, создаваемое за счет наличия белков в биологических жидкостях организма
Изоэлектрическая точка ВМС	$pI$	Значение pH, при котором молекула ВМС имеет суммарный заряд, равный 0, и поэтому при электрофорезе не движется ни к аноду, ни к катоду
Уравнение мембранного равновесия Доннана	$[Kt^+]_{\text{внутр}} [An^-]_{\text{внутр}} = [Kt^+]_{\text{внеш}} [An^-]_{\text{внеш}}$ Если объемы растворов внутри клетки и снаружи одинаковы, то количество низкомолекулярного электролита, перешедшего в клетку извне, рассчитывается по уравнению $x(Kt^+) = \frac{c^2(Kt^+)_{\text{внеш}}}{c(Kt^+)_{\text{внутр}} + 2c(Kt^+)_{\text{внеш}}},$ где $c(Kt^+)$ – исходные концентрации низкомолекулярного катиона	Характеризует равновесие, устанавливающееся в системе растворов, разделенных мембраной, непроницаемой хотя бы для одного вида ионов, присутствующих в системе (в клетках роль таких непроницаемых ионов выполняют ионы белков)

## Обучающие задачи с решением

**1.** Вычислите поверхностное натяжение толуола при 50 °С, если при медленном выпуске его из сталагмометра масса 38 капель составила 1,486 г. При выпуске из того же сталагмометра воды при той же температуре масса 25 капель ее оказалась равной 2,657 г. Поверхностное натяжение воды при 50 °С равно  $76,91 \cdot 10^{-3}$  Н/м.

### Решение.

Для определения поверхностного натяжения толуола сталагмометрическим методом можно воспользоваться формулой:

$$\sigma_{\text{тол}} = \sigma(\text{H}_2\text{O}) \frac{m_{\text{тол}} \cdot n(\text{H}_2\text{O})}{m(\text{H}_2\text{O}) \cdot n_{\text{тол}}},$$

где  $\sigma(\text{тол.})$  и  $\sigma(\text{H}_2\text{O})$  — поверхностное натяжение толуола и воды;  
 $m(\text{тол.})$  и  $m(\text{H}_2\text{O})$  — массы капель толуола и воды;  
 $n(\text{тол.})$  и  $n(\text{H}_2\text{O})$  — число капель толуола и воды.

$$\sigma(\text{тол.}) = 76,91 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м} \frac{1,486 \text{ г} \cdot 25}{2,657 \text{ г} \cdot 38} = 28,30 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}.$$

*Ответ:*  $28,30 \cdot 10^{-3}$  Н/м.

**2.** Рассчитайте работу адгезии в системах «вода-графит» и «бензол-графит». Поверхностные натяжения на границе с воздухом воды и бензола соответственно равны  $72,75 \cdot 10^{-3}$  Дж/м<sup>2</sup> (или Н/м) и  $28,88 \cdot 10^{-3}$  Дж/м<sup>2</sup>, а краевые углы смачивания составляют 108° и 30°. Какое из веществ лучше смачивает графит (уголь)?

### Решение.

Адгезия (от лат. *adhaesio* — притяжение, сцепление) — явление соединения (прилипания) приведенных в контакт поверхностей фаз. Адгезия проявляется в процессах склеивания, совмещения, получения композитов, трения, при взаимодействии биологических объектов (например, целостность тканей и т.п.), используется для характеристики материалов, применяемых в

медицине (хирургии, стоматологии). Процесс адгезии характеризуется работой адгезии ( $W_a$ ), которая рассчитывается по уравнению Дюпре–Юнге:

$$W_a = \sigma_{ж/г} \cdot (1 + \cos \theta),$$

где  $\sigma_{ж/г}$  – поверхностное натяжение на границе раздела фаз ж/г;  $\theta$  – краевой угол смачивания.

Если  $180^\circ > \theta > 90^\circ$ , наблюдается **несмачивание**, при  $90^\circ > \theta > 0$  – **ограниченное смачивание**, и если капля растекается в тонкую пленку, происходит **полное смачивание** (например, ртуть на свинце).

$W_a$  для системы «вода-графит» равно:

$$W_{a1} = 72,75 \cdot 10^{-3} \cdot (1 + \cos 108^\circ) = 50,28 \cdot 10^{-3} \text{ Дж/м}^2 \text{ (Н/м)}.$$

$W_a$  для системы «бензол-графит» равно:

$$W_{a2} = 28,88 \cdot 10^{-3} \cdot (1 + \cos 30^\circ) = 54,61 \cdot 10^{-3} \text{ Дж/м}^2 \text{ (Н/м)}.$$

**Ответ:** чем лучше смачивание, тем больше работа адгезии, тем прочнее связь между фазами. Неполарный бензол лучше смачивает неполярный графит (уголь), чем вода, молекулы которой полярны.

**3.** Сравните поверхностную активность пропионовой и масляной кислот в водных растворах в данном интервале концентраций, если известно:

Кислота	$c$ , моль/л	$\sigma$ , мН/м
пропионовая	0,0312	69,5
	0,0625	67,7
масляная	0,0312	65,8
	0,0625	60,4

Выполняется ли правило Траубе–Дюкло?

**Решение.**

Мерой поверхностной активности является  $g = -\frac{d\sigma}{dc}$  или, в

узких интервалах, приблизительно,  $g = -\frac{\Delta\sigma}{\Delta c}$ .

$$g(\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}) = -\frac{(67,7 - 69,5) \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}}{(0,0625 - 0,0312) \cdot 10^3 \text{ моль/м}^3} =$$

$$= 57,5 \cdot 10^{-6} \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{моль};$$

$$g(\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}) = -\frac{(60,4 - 65,8) \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}}{(0,0625 - 0,0312) \cdot 10^3 \text{ моль/м}^3} =$$

$$= 172,5 \cdot 10^{-6} \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{моль}.$$

По правилу Траубе–Дюкло поверхностная активность веществ одного и того же гомологического ряда возрастает приблизительно в 3 раза при увеличении углеводородной цепи на группу  $-\text{CH}_2-$ .

$$\frac{g(\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH})}{g(\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH})} = \frac{172,5 \cdot 10^{-6}}{57,5 \cdot 10^{-6}} \approx 3.$$

*Ответ:* правило Траубе–Дюкло выполняется в заданном интервале концентраций.

**4.** Поверхностное натяжение водного раствора с концентрацией пентанола 0,03 моль/л равно  $55,3 \cdot 10^{-3}$  Н/м при 298 К. Оцените величину адсорбции из раствора с концентрацией бутанола 0,015 моль/л при 298 К.

**Решение.**

Приближенно находим поверхностную активность пентанола в интервале концентраций  $c_1 - c_2$ , где  $c_1 = 0$  (т.е. чистый растворитель),  $c_2 = 0,03$  моль/л;

$\sigma_1$  – коэффициент поверхностного натяжения воды, справочная величина:

$$g(\text{C}_5\text{H}_{11}\text{OH}) = -\frac{\sigma_2 - \sigma_1}{c_2 - c_1},$$

$$g(\text{C}_5\text{H}_{11}\text{OH}) = \frac{(55,3 \cdot 10^{-3} - 71,96 \cdot 10^{-3}) \text{ Н/м}}{(0,03 - 0) \text{ моль/л}} = 0,555 \text{ Н} \cdot \text{л}/(\text{моль} \cdot \text{м}).$$

По правилу Траубе–Дюкло поверхностная активность бутанола как предшествующего члена гомологического ряда предельных одноатомных спиртов при тех же условиях будет в 3,2 раза меньше:

$$g(\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}) = \frac{g(\text{C}_3\text{H}_{11}\text{OH})}{3,2} = \frac{0,555}{3,2} = 0,174 \text{ Н} \cdot \text{л}/(\text{моль} \cdot \text{м}).$$

Так как концентрация раствора бутанола 0,015 моль/л является серединой интервала, в котором рассчитывалась поверхностная активность, величина адсорбции из этого раствора рассчитывается по уравнению Гиббса:

$$\Gamma(\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}) = \frac{c_{\text{cp}}(\text{C}_4\text{H}_9\text{OH})}{RT} \cdot g(\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}) = \frac{0,015 \cdot 0,174}{298 \cdot 8,31} = 1,0 \cdot 10^{-6} \text{ моль}/\text{м}^2.$$

*Ответ:* величина адсорбции бутанола  $1,0 \cdot 10^{-6}$  моль/м<sup>2</sup>.

**5.** При уменьшении концентрации новокаина в растворе с 0,2 моль/л до 0,15 моль/л поверхностное натяжение возросло с  $6,9 \cdot 10^{-2}$  Н/м до  $7,1 \cdot 10^{-2}$  Н/м, а у раствора кокаина — с  $6,5 \cdot 10^{-2}$  Н/м до  $7,0 \cdot 10^{-2}$  Н/м. Сравните величины адсорбции двух веществ в данном интервале концентраций,  $T = 293$  К.

**Решение.**

Адсорбцию на границе раздела «жидкость–газ» вычисляют с помощью уравнения Гиббса:

$$\Gamma = -\frac{c}{RT} \cdot \frac{d\sigma}{dc},$$

где  $\Gamma$  — величина адсорбции растворенного вещества, измеряемая количеством этого вещества (моль), приходящегося на единицу площади поверхности адсорбента, моль/м<sup>2</sup>;

$c$  — равновесная молярная концентрация растворенного вещества, моль/л, в узких интервалах измерений рассчитывается

как средняя величина:  $\frac{c_1 + c_2}{2}$ ;

$-\frac{d\sigma}{dc}$  – поверхностная активность (понижение удельного поверхностного натяжения, вызванное повышением концентрации растворенного вещества в поверхностном слое) в узком диапазоне  $-\frac{\Delta\sigma}{\Delta c}$ ;  $\Delta\sigma = \sigma_2 - \sigma_1$ ,  $\Delta c = c_2 - c_1$ ;

$R$  – универсальная газовая постоянная, 8,31 Дж/(моль · К).

Величина адсорбции новокаина равна:

$$\Gamma_{\text{нов}} = - \frac{\left(\frac{0,2+0,15}{2}\right) \text{ моль/л}}{8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)} \cdot 293 \text{ К}} \cdot \frac{(7,1-6,9) \cdot 10^{-2} \text{ Н/м}}{(0,15-0,2) \text{ моль/л}} =$$

$$= 2,87 \cdot 10^{-6} \text{ моль/м}^2.$$

Величина адсорбции кокаина составляет:

$$\Gamma_{\text{кок}} = - \frac{\left(\frac{0,2+0,15}{2}\right) \text{ моль/л}}{8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)} \cdot 293 \text{ К}} \cdot \frac{(7,0-6,9) \cdot 10^{-2} \text{ Н/м}}{(0,15-0,2) \text{ моль/л}} =$$

$$= 7,19 \cdot 10^{-6} \text{ моль/м}^2.$$

*Ответ:* адсорбция кокаина при прочих равных условиях выше, чем новокаина.

**6.** Определите тип адсорбции при растворении в воде серной кислоты, если концентрация серной кислоты в воде 2,33 моль/л, поверхностное натяжение раствора  $75,20 \cdot 10^{-3}$  Н/м, поверхностное натяжение воды  $73,05 \cdot 10^{-3}$  Н/м,  $t = 18$  °С.

**Решение.**

Величина и тип адсорбции определяются по уравнению Гиббса:

$$\Gamma = - \frac{c}{RT} \cdot \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{c_2 - c_1},$$

где  $c_1 = 0$ , так как в воде до растворения отсутствует  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

$$\text{Следовательно, } c = \frac{c_1 + c_2}{2} = \frac{0 + c_2}{2} = \frac{c_2}{2}.$$

$$\Gamma = -\frac{c_2}{2 \cdot RT} \cdot \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{c_2 - 0} = -\frac{\sigma_2 - \sigma_1}{2 \cdot RT};$$

$$\Gamma = -\frac{(75,20 - 73,05) \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 8,31 \cdot 291} = -4,44 \cdot 10^{-7} \text{ моль/м}^2.$$

*Ответ:* адсорбция отрицательная (или абсорбция),  
 $\Gamma = -4,44 \cdot 10^{-7} \text{ моль/м}^2.$

**7.** Экспериментально установлено, что величина максимальной адсорбции на угле составляет  $3,0 \cdot 10^{-3}$  моль/г. Какая масса пропионовой кислоты (адсорбата) адсорбировалась из раствора, в котором установилась равновесная концентрация 0,1 моль/л, если масса адсорбента 1 г, а величина  $a = 6,0 \cdot 10^{-2}$  моль/л?

**Решение.**

Для определения величины адсорбции на неподвижной поверхности раздела фаз (твёрдом адсорбенте) часто используют уравнение Ленгмюра:

$$\Gamma = \Gamma_{\infty} \frac{c}{a + c},$$

где  $\Gamma$  – величина адсорбции, моль/г;

$\Gamma_{\infty}$  – предельная адсорбция, моль/г;

$c$  – равновесная концентрация адсорбата, моль/л (моль/дм<sup>3</sup>);

$a$  – константа, равная отношению константы скорости десорбции к константе скорости адсорбции; она численно совпадает с равновесной концентрацией, при которой  $\Gamma = \frac{1}{2} \Gamma_{\infty}$ .

Находим величину адсорбции:

$$\Gamma = 3,0 \cdot 10^{-3} \text{ моль/г} \cdot \frac{0,1 \text{ моль/л}}{0,1 \text{ моль/л} + 6,0 \cdot 10^{-2} \text{ моль/л}} =$$

$$= 1,875 \cdot 10^{-3} \text{ моль/г},$$

следовательно,  $n(\text{адсорбата}) = 1,875 \cdot 10^{-3} \text{ моль}.$

Находим массу адсорбата:

$$m(\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}) = n \cdot M = 1,875 \cdot 10^{-3} \text{ моль} \cdot 74 \text{ г/моль} = 0,139 \text{ г.}$$

*Ответ:* из раствора адсорбировалась пропионовая кислота массой 0,139 г.

**8.** В 50 мл раствора с концентрацией уксусной кислоты 0,1 моль/л поместили адсорбент массой 2 г и взбалтывали смесь до достижения адсорбционного равновесия. После этого раствор отфильтровали. На титрование 10 мл фильтрата пошло 15 мл раствора титранта с концентрацией КОН, равной 0,05 моль/л. Определите величину адсорбции уксусной кислоты.

**Решение.**

По результатам титрования находим равновесную концентрацию уксусной кислоты:

$$c_1(\text{CH}_3\text{COOH})_{\text{равн}} = \frac{c(\text{KOH}) \cdot V(\text{KOH})}{V(\text{CH}_3\text{COOH})} =$$

$$= \frac{15 \text{ мл} \cdot 0,05 \text{ моль/л}}{10 \text{ мл}} = 0,075 \text{ моль/л.}$$

Определяем адсорбцию по разности концентраций исходного и равновесного растворов уксусной кислоты (адсорбата):

$$\Gamma = \frac{(c_0 - c_{\text{равн}}) \cdot V}{m},$$

где  $c_0$  и  $c_{\text{равн}}$  — начальная и равновесная концентрации адсорбата;

$V$  — объем раствора, из которого ведется адсорбция;

$m$  — масса адсорбента.

$$\Gamma = \frac{(0,100 - 0,075) \text{ моль/л} \cdot 50 \cdot 10^{-3} \text{ л}}{2 \text{ г}} = 6,25 \cdot 10^{-4} \text{ моль/г.}$$

*Ответ:* величина адсорбции уксусной кислоты составила  $6,25 \cdot 10^{-4}$  моль/г.

**9.** Емкость адсорбента АДБ по холестерину составляет  $0,7$  мкмоль/г. Какая масса холестерина адсорбируется из плазмы крови, содержащей  $4,8$  мкмоль/мл холестерина, если  $a = 2$  мкмоль/мл,  $M_{\text{хол.}} = 386,6$  г/моль? Как изменится величина адсорбции, если концентрация холестерина в плазме увеличится до  $5,4$  мкмоль/мл?

**Решение.**

Величину адсорбции определяем по уравнению Ленгмюра, принимая, что предельная адсорбция  $\Gamma_{\infty}$  равна емкости адсорбента  $0,7$  мкмоль/г или  $0,7 \cdot 10^{-6}$  моль/г:

$$\Gamma = \Gamma_{\infty} \cdot \frac{c}{a + c};$$

$$\Gamma_1 = 0,7 \cdot 10^{-6} \text{ моль/г} \cdot \frac{4,8 \cdot 10^{-6} \text{ моль/мл}}{(4,8 + 2) \cdot 10^{-6} \text{ моль/мл}} =$$

$$= 4,9 \cdot 10^{-7} \text{ моль/г};$$

$$\Gamma_2 = 0,7 \cdot 10^{-6} \text{ моль/г} \cdot \frac{5,4 \cdot 10^{-6} \text{ моль/мл}}{(5,4 + 2) \cdot 10^{-6} \text{ моль/мл}} =$$

$$= 5,1 \cdot 10^{-7} \text{ моль/г}.$$

Массу холестерина, адсорбированного из плазмы, определяем по формуле:  $m = n \cdot M$ , где  $n$  равно количеству адсорбированного вещества:

$$m(\text{хол.})_1 = 4,9 \cdot 10^{-7} \text{ моль} \cdot 386,6 \text{ г/моль} = 189,4 \cdot 10^{-6} \text{ г} = \\ = 1,89 \cdot 10^{-4} \text{ г}.$$

$$m(\text{хол.})_2 = 5,1 \cdot 10^{-7} \text{ моль} \cdot 386,6 \text{ г/моль} = 1,97 \cdot 10^{-4} \text{ г}.$$

*Ответ:* с увеличением концентрации холестерина величина адсорбции увеличивается;  $m(\text{хол.})_1 = 1,89 \cdot 10^{-4}$  г,  $m(\text{хол.})_2 = 1,97 \cdot 10^{-4}$  г.

**10.** Степень адсорбции пропионовой кислоты из водного раствора углем массой  $2$  г составила  $60\%$ . Определите массу пропионовой кислоты (г) в  $1$  л водного раствора до адсорбции, если удельная адсорбция равна  $2,32 \cdot 10^{-3}$  моль/г.

**Решение.**

Величину адсорбции из раствора и степень адсорбции определяем по формулам:

$$\Gamma = \frac{(c_o - c_p) \cdot V}{m_{\text{ад-та}}}; h = \frac{c_o - c_p}{c_o} \Rightarrow c_o - c_p = h \cdot c_o \Rightarrow$$

$$\Gamma = \frac{h \cdot c_o \cdot V}{m_{\text{ад-та}}} \Rightarrow c_o = \frac{\Gamma \cdot m_{\text{ад-та}}}{h \cdot V};$$

$$c_o = \frac{2,32 \cdot 10^{-3} \text{ моль/г} \cdot 2 \text{ г}}{0,6 \cdot 1} = 7,73 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л.}$$

Вычисляем массу пропионовой кислоты:

$$c_o(\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}) = \frac{m(\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH})}{M(\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}) \cdot V_{\text{р-ра}} (\text{л})} \Rightarrow$$

$$m(\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}) = c_o(\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}) \cdot M(\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}) \cdot V_{\text{р-ра}};$$

$$m(\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}) = 7,73 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л} \cdot 74 \text{ г/моль} \cdot 1 \text{ л} = 0,572 \text{ г.}$$

*Ответ:*  $m(\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH})$  в 1 л раствора до адсорбции составила 0,572 г.

**11.** Поверхностное натяжение водного раствора, содержащего поверхностно-активное вещество (ПАВ) в концентрации 0,056 моль/л при 293 К, равно  $4,33 \cdot 10^{-2}$  Н/м. Вычислите величину адсорбции ПАВ из раствора с концентрацией 0,028 моль/л при 293 К.

**Решение.**

Величину адсорбции вычисляем по уравнению Гиббса:

$$\Gamma = -\frac{c}{RT} \cdot \frac{\Delta\sigma}{\Delta c}, \text{ считая, что } \Delta c = 0,056 \text{ моль/л, а}$$

$$\Delta\sigma = \sigma_2 - \sigma_1 = \sigma(\text{р-ра}) - \sigma(\text{H}_2\text{O}) =$$

$$= (4,33 - 7,28) \cdot 10^{-2} \text{ Н/м} = -2,95 \cdot 10^{-2} \text{ Н/м.}$$

$$\sigma(\text{H}_2\text{O}) = 7,28 \cdot 10^{-2} \text{ Н/м (справочные данные).}$$

$$\Gamma = -\frac{0,028 \text{ моль/мл}}{8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)} \cdot 293 \text{ К}} \cdot \frac{-2,95 \cdot 10^{-2} \text{ Н/м}}{0,056 \text{ моль/л}} =$$

$$= 6,06 \cdot 10^{-6} \text{ моль/м}^2.$$

*Ответ:* положительная адсорбция составила  $6,06 \cdot 10^{-6}$  моль/м<sup>2</sup>.

**12.** В 60 мл раствора с концентрацией некоторого вещества, равной 0,440 моль/л, поместили активированный уголь массой 3 г. Раствор с адсорбентом взбалтывали до установления адсорбционного равновесия, в результате чего концентрация вещества снизилась до 0,350 моль/л. Вычислите величину адсорбции и степень адсорбции (в %).

**Решение.**

Определяем адсорбцию по формуле:

$$\Gamma = \frac{(c_0 - c_p) \cdot V}{m_{\text{ад-нта}}} = \frac{(0,440 - 0,350) \text{ моль/мл} \cdot 60 \cdot 10^{-3} \text{ л}}{3 \text{ г}} =$$

$$= 0,0018 \text{ моль/г};$$

определяем степень адсорбции:  $h = \frac{c_0 - c_p}{c_0} \cdot 100\%$ ;

$$h = \frac{0,440 - 0,350}{0,440} \cdot 100\% = 20,5\%.$$

*Ответ:* величина адсорбции составила 0,0018 моль/г, степень адсорбции — 20,5%.

**13.** Рассчитайте величину адсорбции уксусной кислоты на твердом адсорбенте, если ее равновесная концентрация составила 0,22 моль/л, а константы в уравнении Фрейндлиха равны:  $K = 0,50$  моль/г,  $n = 0,45$ .

**Решение.**

В медико-биологических исследованиях часто наряду с уравнением изотермы Ленгмюра используют уравнение изотермы Фрейндлиха:

$$\Gamma = K \cdot c^{1/n}, \text{ если } n > 1;$$

$$\Gamma = K \cdot c^n, \text{ если } n < 1, \text{ где}$$

$K$  и  $n$  — константы Фрейндлиха, получаемые эмпирическим путем в определенном ограниченном диапазоне концентраций.

$$\Gamma = 0,50 \text{ моль/г} \cdot 0,22^{0,45} = 0,253 \text{ моль/г.}$$

*Ответ:* величина адсорбции уксусной кислоты равна 0,253 моль/г.

**14.** В 200 мл 0,12 М раствора КОН ввели 5 г воздушно-сухого катионита в  $\text{H}^+$ -форме. После установления равновесия отфильтровали 100 мл раствора, для нейтрализации которого потребовалось 20 мл 0,12 М раствора  $\text{HCl}$ . Определите полную обменную емкость катионита.

**Решение.**

Концентрация щелочи после действия ионита:

$$c(\text{NaOH}) = \frac{c(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl})}{V(\text{NaOH})} = \frac{0,02 \cdot 0,12}{0,1} = 0,024 \text{ моль/л.}$$

Полная емкость ионита:

$$\Gamma = \frac{(c_0 - c_p) \cdot V}{m} = \frac{(0,12 - 0,024) \cdot 0,2}{5} = 0,00384 \text{ моль/г} =$$

$$= 3,84 \text{ моль/кг.}$$

*Ответ:* полная обменная емкость катионита составляет 3,84 моль/кг.

**15.** Каково строение мицеллы для золь йодида серебра, полученного добавлением к 30 мл раствора йодида калия ( $c(\text{KI}) = 0,006$  моль/л) 40 мл раствора нитрата серебра ( $c(\text{AgNO}_3) = 0,004$  моль/л)?

**Решение.**

Золь получен конденсационным методом по реакции обмена:  $\text{AgNO}_3 + \text{KI} \rightarrow \text{AgI} \downarrow + \text{KNO}_3$ . Для того чтобы вместо осадка

AgI образовался коллоидный раствор (золь), необходимо условие: один из реагентов должен быть в избытке.

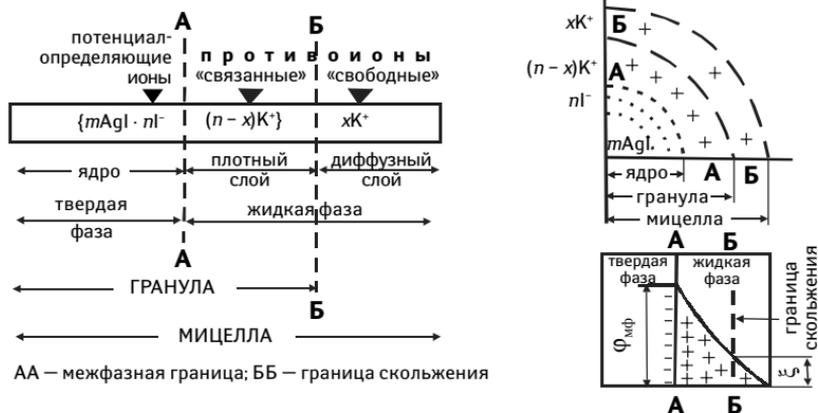
Рассчитаем количество ионов серебра и йода:

$$n(\text{Ag}^+) = c \cdot V = 40 \cdot 10^{-3} \text{ л} \cdot 0,004 \text{ моль/л} = 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ моль};$$

$$n(\text{I}^-) = c \cdot V = 30 \cdot 10^{-3} \text{ л} \cdot 0,006 \text{ моль/л} = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ моль},$$

следовательно, KI — в избытке.

В этом случае мицелла имеет строение, изображенное на рисунке 1.



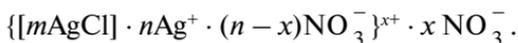
**Рис. 1.** Строение мицеллы

**16.** При электрофорезе частицы золя хлорида серебра, полученного смешиванием равных объемов раствора нитрата серебра с концентрацией 0,005 моль/л и хлорида натрия, перемещаются к катоду. В каком диапазоне находилось значение концентрации раствора хлорида натрия?

**Решение.**

Из анализа результатов электрофореза можно сделать вывод, что гранула мицеллы заряжена положительно.

Формула мицеллы с положительным зарядом гранулы имеет вид:



Чтобы образовалась мицелла подобного строения, хлорид натрия должен быть в недостатке. Так как объемы смешиваемых растворов одинаковы, то концентрация NaCl должна быть меньше концентрации AgNO<sub>3</sub>, т.е. меньше 0,005M.

*Ответ:*  $c(\text{NaCl}) < 0,005$  моль/л.

**17.** Пороги коагуляции некоторого золя электролитами KNO<sub>3</sub>, MgCl<sub>2</sub>, NaBr равны соответственно: 50,0; 0,8; 49,0 ммоль/л. Как соотносятся между собой величины коагулирующих способностей этих веществ? Укажите коагулирующие ионы. Каков знак заряда коллоидной частицы?

**Решение.**

Порог коагуляции ( $c_{\text{пк}}$ ) — это минимальное количество электролита, которое надо добавить к коллоидному раствору, чтобы вызвать явную (заметную на глаз) коагуляцию — помутнение раствора или изменение его окраски.

Порог коагуляции можно рассчитать по формуле:

$$c_{\text{пк}} = \frac{c_{\text{эл.}} \cdot V_{\text{эл.}}}{V_{\text{кол. р-ра}} + V_{\text{эл.}}},$$

где  $c_{\text{эл.}}$  — исходная концентрация раствора электролита;

$V_{\text{эл.}}$  — объем раствора электролита, добавленного к коллоидному раствору;

$V_{\text{кол. р-ра}}$  — объем коллоидного раствора.

Величина, обратная порогу коагуляции, называется коагулирующим действием ( $\gamma$ ):  $\gamma = 1/c_{\text{пк}}$ .

$$\gamma(\text{KNO}_3) = \frac{1}{50 \text{ моль/л}} = 0,02 \text{ л/ммоль};$$

$$\gamma(\text{MgCl}_2) = \frac{1}{0,8 \text{ моль/л}} = 1,25 \text{ л/ммоль};$$

$$\gamma(\text{NaBr}) = \frac{1}{49,0 \text{ моль/л}} = 0,0204 \text{ л/ммоль};$$

$\text{MgCl}_2$  обладает наибольшим коагулирующим действием. Коагулирующее действие электролитов на коллоидные растворы с ионным стабилизатором подчиняется правилу Шульце—Гарди: коагуляцию коллоидных растворов вызывают ионы, знак заряда которых противоположен знаку заряда гранулы. Коагулирующее действие тем сильнее, чем выше заряд иона-коагулянта.

$\gamma \sim z^6$  — коагулирующее действие иона-коагулянта пропорционально его заряду в шестой степени.

$$\gamma(\text{Na}^+) : \gamma(\text{K}^+) : \gamma(\text{Mg}^{2+}) = 0,0204 : 0,02 : 1,25 = 1 : 1 : 62,5.$$

Так как анионы во всех данных электролитах однозарядны, то ионами-коагулянтами являются катионы, а следовательно, заряд коллоидной частицы — отрицательный.

*Ответ:* наибольшим коагулирующим действием обладают ионы  $\text{Mg}^{2+}$ ; заряд гранулы золя — отрицательный.

**18.** Коагуляция 4 л золя гидроксида железа(III) наступила при добавлении 0,91 мл 10%-ного раствора сульфата магния (плотность 1,1 г/мл). Вычислите порог коагуляции золя сульфат-ионами.

**Решение.**

Определяем массу  $\text{MgSO}_4$ , вызвавшего коагуляцию, и его количество:

$$m(\text{MgSO}_4) = \frac{\omega \cdot \rho \cdot V}{100\%} = \frac{10\% \cdot 1,1 \text{ г/мл} \cdot 0,91 \text{ мл}}{100\%} = 0,100 \text{ г};$$

$$n(\text{MgSO}_4) = \frac{m(\text{MgSO}_4)}{M(\text{MgSO}_4)} = \frac{0,100 \text{ г}}{120 \text{ г/моль}} = 0,00083 \text{ моль} = 8,3 \cdot 10^{-4} \text{ моль};$$

$$n(\text{SO}_4^{2-}) = n(\text{MgSO}_4) = 8,3 \cdot 10^{-4} \text{ моль}.$$

Определяем порог коагуляции по формуле:

$$c_{\text{пк}} = \frac{n(\text{SO}_4^{2-})}{V_{\text{эл}} + V_{\text{золя}}} = \frac{8,3 \cdot 10^{-4} \text{ моль}}{4 \text{ л} + 0,91 \cdot 10^{-3} \text{ л}} = 2,1 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л}.$$

*Ответ:*  $c_{\text{пк}}$  равен  $2,1 \cdot 10^{-4}$  моль/л.

**19.** Порог коагуляции золя гидроксида алюминия дихромат-ионами равен 0,63 ммоль/л. Какой объем 10%-ного раствора дихромата калия ( $\rho = 1,07$  г/мл) требуется для коагуляции 1,5 л золя?

**Решение.**

Обозначим искомый объем электролита-коагулянта через  $x$ ,

тогда: 
$$c_{\text{пк}} = \frac{c_{\text{эл}} \cdot x}{V_{\text{золя}} + x}.$$

Определим концентрацию электролита, вызвавшего коагуляцию, по формуле:

$$c_{\text{эл}} = \frac{\omega \cdot \rho \cdot 10}{M} = \frac{10 \cdot 1,07 \cdot 10}{294} = 0,364 \text{ моль/л.}$$

Определяем объем электролита, т.е. находим  $x$ :

$$0,63 \cdot 10^{-3} = \frac{0,364 \cdot x}{1,5 + x} \Rightarrow x = 0,00260 \text{ л} = 2,60 \text{ мл.}$$

*Ответ:*  $V_{\text{р-ра}}(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)$  равен 2,60 мл.

**20.** Золотое число желатина равно 0,01 мг. Какой объем раствора ( $\rho = 1$  г/мл) с массовой долей желатина, равной 0,01%, следует добавить к 10 мл золя золота для предотвращения коагулирующего действия 1 мл раствора с массовой долей хлорида натрия 10%?

**Решение.**

Золотое число, введенное в практику Зигмонди, рассчитано на самый чувствительный золь — гидрозоль золота.

*Золотое число* — минимальная масса (мг) ВМС, которая предотвращает коагуляцию 10 мл коллоидного раствора золота при добавлении 1 мл раствора с массовой долей хлорида натрия 10%.

0,01 мг желатина (ВМС) содержится в 0,1 мл раствора с массовой долей желатина 0,01%. Следовательно, к 10 мл коллоидного раствора надо добавить 0,1 мл 0,01%-ного раствора желатина.

В. Оствальд в качестве стандарта вместо золотого числа предложил *рубиновое*. Оно определяется как минимальное число мг защищающего золя, которое способно защитить 10 мл раствора красителя конго красного (*конгорубина*) с массовой концентрацией 0,1 г/л от коагулирующего действия 1 мл раствора хлорида натрия с массовой концентрацией 100 г/л.

Помимо золотого и рубинового чисел применение получило еще более простое и легкодоступное *железное число*, которое можно определить как число миллиграммов защищающего высокополимера, способного защитить 10 мл золя гидроксида железа от коагулирующего действия 1 мл 0,025 М раствора  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .

*Ответ:* следует добавить 0,1 мл раствора желатина.

**21.** Рассчитайте железное число, если на «защиту» 5 мл золя  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  пошло 2 мл 0,001% раствора желатина. Плотность раствора принять равной 1 г/мл.

**Решение.**

Концентрация желатина равна 0,001 г/100 мл.

$$S = \frac{c(\text{жел.}) \cdot V(\text{жел.})}{V(\text{золя})};$$

$$S = \frac{0,001/100 \cdot 2}{5} = 0,000004 \text{ г} = 0,004 \text{ мг.}$$

0,004 мг желатина защищают 1 мл золя, а литр золя будет защищать желатин массой 4 мг.

*Ответ:* 4 мг/л золя.

**22.** 1%-ный раствор желатина вытекает из вискозиметра в течение 29 секунд, а такой же объем чистой воды – в течение 10 секунд. Определите относительную вязкость раствора желатина, если его плотность  $1010 \text{ кг/м}^3$ , считая плотность воды равной  $1000 \text{ кг/м}^3$ . Вязкость воды  $\eta_{\text{H}_2\text{O}}^{20} = 1,005 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$  или  $(\text{Н} \cdot \text{с/м}^2)$ .

**Решение.**

Для расчета относительной вязкости используем формулу:

$$\eta_{\text{ж}} = \eta_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \frac{\tau_{\text{ж}} \cdot \rho_{\text{ж}}}{\tau_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \rho_{\text{H}_2\text{O}}},$$

где  $\eta_{\text{ж}}$  и  $\eta_{\text{H}_2\text{O}}$  — вязкости исследуемого раствора и воды, соответственно;

$\tau_{\text{ж}}$  и  $\tau_{\text{H}_2\text{O}}$  — время вытекания из вискозиметра исследуемого раствора и воды;

$\rho_{\text{ж}}$  и  $\rho_{\text{H}_2\text{O}}$  — плотности исследуемого раствора и воды.

$$\eta_{\text{ж}} = 1,005 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}^2} \cdot \frac{29 \text{ с} \cdot 1010 \text{ кг/м}^3}{10 \text{ с} \cdot 1000 \text{ кг/м}^3} = 2,94 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}^2}.$$

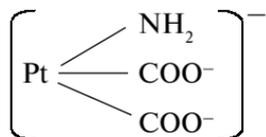
*Ответ:* относительная вязкость раствора желатина равна  $2,94 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{с/м}^2$ .

**23.** К какому электроду будет перемещаться при электрофорезе  $\beta$ -лактоглобулин в буферном растворе, содержащем равные концентрации гидрофосфат- и дигидрофосфат-ионов, если при  $\text{pH} = 5,2$  белок остается на старте?

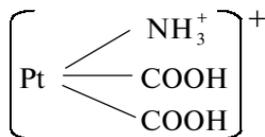
**Решение.**

Значение  $\text{pH}$ , при котором молекула белка имеет суммарный заряд, равный 0, и при электрофорезе остается на старте, называется изоэлектрической точкой ( $\text{pI}$ ). Для кислых белков, в аминокислотном составе которых много дикарбоновых кислот и свободных карбоксильных групп больше, чем аминогрупп,  $\text{pI}$  находится в слабокислой среде. В данном случае  $\text{pH} = \text{pI} = 5,2$ , среда слабокислая, значит, белок кислый.

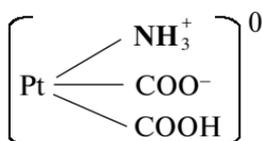
При  $\text{pH} > \text{pI}$  белок заряжается отрицательно, так как подавляется диссоциация аминогрупп:



При  $pH < pI$  белок заряжается положительно, так как подавляется диссоциация карбоксильных групп:



При  $pH = pI$  суммарный заряд макромолекулы белка равен 0:



$pH$  буферного раствора определяется по уравнению Гендерсона–Гассельбаха:

$$pH = pK(\text{H}_2\text{PO}_4^-) + \lg \frac{[\text{HPO}_4^{2-}]}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]}. \text{ Так как по условию задачи}$$

$[\text{HPO}_4^{2-}] = [\text{H}_2\text{PO}_4^-]$ , то  $pH = pK(\text{H}_2\text{PO}_4^-) = 7,21$  (справочные данные).

Поскольку  $pI = 5,2$ , а  $pH = 7,21$ , т.е.  $pH > pI$ , следовательно, белок заряжается отрицательно и при электрофорезе будет перемещаться к аноду.

*Ответ:* при  $pH = 7,21$   $\beta$ -лактоглобулин перемещается при электрофорезе к аноду.

**24.** При  $pH = 6$  инсулин при электрофорезе остается на старте. К какому электроду инсулин будет перемещаться при электрофорезе в растворе хлороводородной кислоты с концентрацией 0,1 моль/л?

**Решение.**

Так как при  $pH = 6,0$  инсулин остается на старте при электрофорезе, следовательно, его  $pI = 6,0$ .

$$pH \text{ раствора соляной кислоты} = -\lg a(\text{H}^+) = -\lg \gamma \cdot c(\text{HCl}),$$

где  $\gamma$  – коэффициент активности, равный 0,76 (справочные данные):  $\text{pH} = -\lg(0,76 \cdot 0,1) = 1,12$ .

pH раствора HCl меньше pI, поэтому молекула инсулина в растворе соляной кислоты приобретает положительный заряд и в электрическом поле будет перемещаться к катоду.

*Ответ:* в 0,1 М растворе соляной кислоты инсулин при электрофорезе будет перемещаться к катоду.

**25.** Рассчитайте осмотическое давление раствора белка с относительной молекулярной массой 10 000, если его массовая концентрация равна 1,0 кг/м<sup>3</sup>,  $T = 310$  К, молекула белка изодиаметрична ( $\beta = 1$ ).

**Решение.**

Для расчета осмотического давления растворов ВМС используется уравнение Галлера:

$$P_{\text{осм}} = \frac{c \cdot R \cdot T}{M} + \beta \cdot c^2,$$

где  $\beta$  – коэффициент, учитывающий гибкость и форму макромолекул; для изодиаметричных молекул коэффициент  $\beta = 1 \text{ Па} \frac{\text{м}^6}{\text{кг}^2}$ ;

$c$  – массовая концентрация ВМС в растворе, кг/м<sup>3</sup>;

$M$  – средняя молярная масса ВМС (численно равна относительной молекулярной массе), кг/моль.

Когда величина  $\beta \cdot c^2$  очень мала, ею как слагаемым можно пренебречь.

$$P_{\text{осм}} = \frac{1 \text{ кг/м}^3 \cdot 8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)} \cdot 310 \text{ К}}{10 \text{ кг/моль}} + 1 \text{ Па} \frac{\text{м}^6}{\text{кг}^2} \cdot (1 \text{ кг/м}^3)^2 = 258,6 \text{ Па}.$$

При небольших концентрациях полимера значение слагаемого  $\beta \cdot c^2$  невелико, его можно не учитывать в расчетах, тогда уравнение Галлера совпадает с уравнением Вант-Гоффа.

*Ответ:* осмотическое давление раствора белка составляет 258,6 Па.

**26.** Будет ли происходить набухание желатина ( $pI = 4,7$ ) в ацетатном буфере, приготовленном из 100 мл раствора ацетата натрия и 200 мл раствора уксусной кислоты (одинаковых концентраций) при  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ? Как можно ускорить процесс набухания? Как замедлить? Ответ поясните.

**Решение.**

Величина набухания зависит от многих факторов, в том числе и от pH среды. pH ацетатного буфера определяется по уравнению:

$$pH = pK_a + \lg \frac{0,1 \cdot c_{\text{соли}}}{0,2 \cdot c_{\text{к-ты}}},$$

так как  $c_{\text{соли}} = c_{\text{к-ты}}$ , уравнение принимает вид:

$$pH = pK_a + \lg \frac{1}{2}; \quad pH = 4,75 + (-0,3) = 4,45.$$

В изоэлектрической точке ( $pI = 4,7$ ) степень набухания желатина минимальна.  $pH_{\text{буф}} = 4,45 < pI$ , следовательно, частицы желатина приобретают «+» заряд; одноименно заряженные частицы отталкиваются друг от друга, молекула ВМС разрыхляется, набухание увеличивается.

*Ответ:* в данном буферном растворе набухание желатина происходить будет. Набухание можно ускорить слабым нагреванием, а замедлить — охлаждением. На процесс набухания влияет также добавление электролитов.

**27.** Полимер массой 2 г поместили в склянку с бензином. Через 20 мин полимер вынули из склянки и взвесили, масса стала 2,5 г. Рассчитайте степень набухания полимера в %.

**Решение.**

Степень набухания полимера определяется по формуле:

$$a = \frac{m - m_0}{m_0} \cdot 100\%,$$

где  $m_0$  — масса полимера до набухания;

$m$  — масса полимера после набухания;

$a$  — степень набухания.

$$a = \frac{2,5 - 2}{2} \cdot 100\% = 25\%.$$

Ответ: степень набухания полимера в бензине 25%.

**28.** При измерении вязкости растворов образца полимера в тетрахлорметане с помощью капиллярного вискозиметра получены следующие данные:

$c$ , г/дм <sup>3</sup>	0	1,70	2,12	2,52	2,95	3,40
Время истечения раствора, с	97,6	115,1	120,2	124,5	129,9	134,9

Вычислите значения относительной, удельной, приведенной вязкости растворов и постройте график зависимости  $\eta_{уд}/c = f(c)$ . Определите характеристическую вязкость  $[\eta]$  и вычислите молекулярную массу полимера.  $K = 1,8 \cdot 10^{-5}$ ,  $\alpha = 1,00$ .

**Решение.**

Для вычисления удельной и приведенной вязкости необходимо воспользоваться формулами:

$$\eta_{уд} = \frac{\tau - \tau_0}{\tau_0}; \eta_{прив} = \frac{\eta_{уд}}{c}.$$

Пример расчета:

$$\eta_{уд1} = \frac{115,1 - 97,6}{97,6} = 0,179; \eta_{прив1} = \frac{0,179}{1,7} = 0,105.$$

Экспериментальные и расчетные данные занесены в таблицу и представлены на графиках (рис. 2).

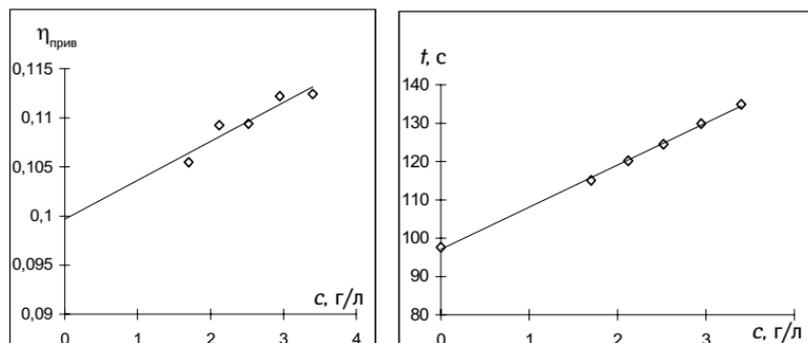
Характеристическая вязкость  $[\eta]$  определяется по графику зависимости  $\eta_{прив}$  от  $c$  (г/л). Из графика видно, что  $[\eta] \approx 0,1$ .

Характеристическая вязкость связана с молярной массой полимера формулой Марка–Хаувинка:  $[\eta] = K \cdot M^\alpha$ , так как  $\alpha =$

$$1,00, \text{ то } M = \frac{[\eta]}{K} = \frac{0,1}{1,8 \cdot 10^{-5}} = 5555.$$

$c$ , г/л	$t$ , с	$\eta_{уд}$	$\eta_{прив}$
0	97,6	0	—
1,7	115,1	0,179303	0,105473
2,12	120,2	0,231557	0,109225
2,52	124,5	0,275615	0,109371
2,95	129,9	0,330943	0,112184
3,4	134,9	0,382172	0,112404

*Ответ:* молекулярная масса полимера 5555.



**Рис. 2.** Определение характеристической вязкости

**29.** По одну сторону мембраны (внутри клетки) находится раствор с концентрацией натриевой соли белка (ProtNa), равной 0,1 моль/л, по другую сторону мембраны — раствор с концентрацией хлорида натрия, равной 0,2 моль/л. Вычислите концентрации электролитов по обе стороны мембраны после установления равновесия.

**Решение.**

Так как соли натрия и внутри, и вне клетки являются сильными электролитами, начальная концентрация ионов  $\text{Na}^+$  вне клетки составляет 0,2 моль/л, а внутри — 0,1 моль/л. Молекулы белка через мембрану не проходят.

Обозначим количество ионов натрия (в пересчете на 1 литр раствора), которое перейдет через мембрану внутрь клетки по закону Доннана,  $x$  моль; таким же будет и количество ионов хлора, которое перейдет вслед за ионами натрия.

По уравнению Доннана:

$$x(\text{Na}^+) = \frac{c^2(\text{Na}^+)_{\text{внеш}}}{c(\text{Na}^+)_{\text{внутр}} + 2c(\text{Na}^+)_{\text{внеш}}} = \frac{0,2^2}{0,1 + 2 \cdot 0,2} = 0,08 \text{ моль/л.}$$

Количество ионов хлора, перешедших в клетку, равно количеству ионов натрия и равно 0,08 моль/л.

Находим количество ионов натрия и хлора, которые остались снаружи:

$$c(\text{Na}^+)_{\text{внеш}} = c(\text{Cl}^-) = 0,2 - 0,08 = 0,12 \text{ моль/л.}$$

Находим количество ионов натрия внутри клетки:

$$c(\text{Na}^+)_{\text{внутр}} = 0,1 + 0,08 = 0,18 \text{ моль/л.}$$

*Ответ:* в состоянии равновесия Доннана концентрация ионов ( $\text{Na}^+$ ) составит снаружи 0,12 моль/л, внутри — 0,18 моль/л; ионов хлора снаружи — 0,12 моль/л, а внутри — 0,08 моль/л. Перемещение ионов способствует возникновению мембранного потенциала и тургора клетки.

## Задания для самостоятельного решения

**1.** Из стагагмометра при 24 °С выпустили сначала воду, затем этанол. При этом число капель составило 29 и 76 соответственно. Уменьшится или увеличится поверхностное натяжение этанола и во сколько раз, если температуру повысить до 60 °С ( $\sigma_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}}^{60} = 18,43 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$ ;  $\rho = 0,79 \text{ г/мл}$ )?

*Ответ:* уменьшится в 1,18 раза.

**2.** Вычислите поверхностное натяжение воды при 20 °С по следующим данным стагагмометрического исследования: чис-

ло капель воды – 31, число капель ацетона – 95. Поверхностное натяжение ацетона при 20 °С равно  $23,70 \cdot 10^{-3}$  Н/м.

*Ответ:*  $\sigma(\text{H}_2\text{O})$  при 20 °С равно  $72,63 \cdot 10^{-3}$  Н/м.

**3.** Вычислите по данным сталагмометрического исследования поверхностное натяжение этилового спирта при 25 °С, если число капель воды – 32, а спирта – 64. Массы капель спирта и воды равны 4,713 и 4,724 г соответственно. Поверхностное натяжение воды при 25 °С равно  $71,97 \cdot 10^{-3}$  Н/м.

*Ответ:*  $\sigma$ (этанола) при 25 °С равно  $35,9 \cdot 10^{-3}$  Н/м.

**4.** Рассчитайте работу адгезии в системах глицерин-фторопласт и трикрезилфосфат-фторопласт. Поверхностные натяжения при 20 °С на границе с воздухом глицерина и трикрезилфосфата соответственно равны  $59,40 \cdot 10^{-3}$  и  $40,90 \cdot 10^{-3}$  Дж/м<sup>2</sup>, а краевые углы смачивания составили 100° и 70°. Какое из веществ лучше смачивает фторопласт?

*Ответ:*  $W_a$ (глицерин-фторопласт) =  $49,08 \cdot 10^{-3}$  Дж/м<sup>2</sup>,  $W_a$ (трикрезилфосфат-фторопласт) =  $54,89 \cdot 10^{-3}$  Дж/м<sup>2</sup>. Чем больше  $W_a$ , тем лучше смачивание.

**5.** Сравните поверхностную активность метилпропанола и метилбутанола в водных растворах в данном интервале концентраций:

Спирт	$c$ , моль/л	$\sigma$ , мН/м
метилпропанол	0,125	52,8
	0,250	44,1
метилбутанол	0,125	47,6
	0,250	23,7

Выполняется ли правило Траубе–Дюкло?

*Ответ:*  $g(\text{мп}) = 6,96 \cdot 10^{-5}$  Н · м<sup>2</sup>/моль;  $g(\text{мб}) = 19,1 \cdot 10^{-5}$  Н · м<sup>2</sup>/моль; правило Траубе–Дюкло не выполняется.

**6.** Пользуясь правилом Траубе–Дюкло, найдите, во сколько раз поверхностная активность амилового спирта  $C_5H_{11}OH$  больше поверхностной активности этилового спирта  $C_2H_5OH$ ?

*Ответ:* ~ в 27 раз.

**7.** При адсорбции уксусной кислоты из 1 л водного раствора 50 г угля получены следующие данные:  $c_0 = 1,40$  моль/л,  $c_p = 1,25$  моль/л. Найдите удельную адсорбцию и степень адсорбции в %.

*Ответ:*  $\Gamma = 3 \cdot 10^{-3}$  моль/г,  $h = 11\%$ .

**8.** К 25 мл 0,3М раствора  $CH_3COOH$  добавили 1 г угля и интенсивно перемешали. После адсорбции количество уксусной кислоты в данной пробе составило  $5,4 \cdot 10^{-3}$  моль. Определите степень адсорбции уксусной кислоты на угле (в %).

*Ответ:*  $h = 28\%$ .

**9.** К 50 мл раствора  $CH_3COOH$  при 20 °С добавили 1,5 г угля. Концентрацию кислоты (моль/л) до и после адсорбции определяли титрованием 10 мл ее 0,1 н. раствором NaOH. Данные титрования:  $V(NaOH)$ , пошедший на титрование кислоты до адсорбции, — 1,1 мл;  $V(NaOH)$ , пошедший на титрование кислоты после адсорбции — 0,23 мл. Определите величину удельной адсорбции (моль/г).

*Ответ:*  $\Gamma = 2,9 \cdot 10^{-4}$  моль/г.

**10.** Сколько г уксусной кислоты адсорбировалось 1 г угля, если удельная адсорбция уксусной кислоты при 22 °С составила  $2,3 \cdot 10^{-3}$  моль/г?

*Ответ:*  $m(CH_3COOH) = 0,138$  г.

**11.** 1 г угля имеет активную поверхность, равную 1000 м<sup>2</sup>, и может адсорбировать 0,448 л (н.у.) ядовитого газа фосгена. Сколько молекул фосгена поглотится этой поверхностью угля?

*Ответ:*  $N(\text{фосгена}) = 1,2 \cdot 10^{22}$  молекул.

**12.** Экспериментально установлено, что величина максимальной адсорбции на угле составила  $3,0 \cdot 10^{-3}$  моль/г;  $a = 6,0 \cdot 10^{-2}$  моль/л. Какая масса пропионовой кислоты адсорбировалась из раствора, в котором установилась равновесная концентрация 0,1 моль/л? Масса адсорбента равна 1 г.

*Ответ:*  $m(\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}) = 0,139$  г.

**13.** Предельная адсорбция  $\Gamma_{\infty} = 7 \cdot 10^{-6}$  моль/м<sup>2</sup>,  $a = 0,935$ . Рассчитайте величину адсорбции при равновесной концентрации 0,05 моль/л.

*Ответ:*  $\Gamma = 2,44 \cdot 10^{-6}$  моль/ м<sup>2</sup>.

**14.** Концентрация кетоновых тел, накапливаемых в крови больных сахарным диабетом в течение суток, достигает 0,2 моль/л. Какое количество кетоновых тел адсорбируется из крови при гемосорбции, если емкость адсорбента равна  $3 \cdot 10^{-3}$  моль/г,  $a = 6 \cdot 10^{-2}$  моль/л?

*Ответ:*  $\Gamma = 2,3 \cdot 10^{-3}$  моль/г.

**15.** Концентрация холестерина в плазме крови после проведения гемосорбции снизилась с 4,8 до 4,0 мкмоль/мл. Чему равна емкость данного адсорбента по холестерину (в мкмоль/г), если объем плазмы равен 1 л, а масса сорбента равна 10 г?

*Ответ:* емкость адсорбента равна 80 мкмоль/г.

**16.** Катионит массой 1 г залили 100 мл раствора с молярной концентрацией эквивалента хлорида кальция 0,1 моль/л на 12 часов. Чему равна статическая обменная емкость данного катионита, если на титрование 25 мл отобранного раствора хлорида кальция через 12 часов пошло 4,3 мл 0,1 н. щелочи.

*Ответ:* 8,3 ммоль/г

**17.** К трем растворам уксусной кислоты разной концентрации объемом по 100 мл добавили активированный уголь массой по 3 г. Количество кислоты до и после адсорбции определяли

титрованием раствором КОН,  $c(\text{КОН}) = 0,1$  моль/л. Определите величину адсорбции для каждого раствора, используя следующие данные:

Объем кислоты, взятый для титрования до и после адсорбции, мл	50	50	50
Объем раствора КОН, израсходованный на титрование до адсорбции, мл	5,50	10,60	23,00
То же после установления адсорбционного равновесия, мл	1,22	3,65	10,20

Проанализируйте полученные результаты.

*Ответ:*  $\Gamma_1 = 0,285$  ммоль/г;  $\Gamma_2 = 0,463$  ммоль/г;  
 $\Gamma_3 = 0,853$  ммоль/г.

**18.** При данной температуре из раствора ПАВ с концентрацией 0,2 моль/л адсорбируется некоторым адсорбентом  $2,96 \cdot 10^{-3}$  моль/г вещества. Определите адсорбционную емкость адсорбента (в моль/г), если значение константы  $a$  составляет 0,07 моль/л.

*Ответ:* емкость адсорбента  $\Gamma = 4,00 \cdot 10^{-3}$  моль/г.

**19.** Пользуясь уравнением Фрейндлиха, рассчитайте равновесную концентрацию уксусной кислоты в растворе, если 1 г угля адсорбирует  $3,76 \cdot 10^{-3}$  моль кислоты,  $K = 0,12$  моль/г,  $n = 0,44$ .

*Ответ:*  $c(\text{CH}_3\text{COOH}) = 3,82 \cdot 10^{-4}$  моль/л.

**20.** Определите тип адсорбции при растворении в воде ацетона, если концентрация ацетона в воде — 29 г/л, поверхностное натяжение раствора —  $59,4 \cdot 10^{-3}$  Н/м, поверхностное натяжение воды —  $73,49 \cdot 10^{-3}$  Н/м,  $t = 15$  °С.

*Ответ:* адсорбция положительная,  $\Gamma = 2,94 \cdot 10^{-6}$  моль/м<sup>2</sup>.

**21.** С увеличением концентрации раствора изомасляной кислоты с 0,125 моль/л до 0,250 моль/л его поверхностное натяжение снизилось с 55,1 мН/м до 47,9 мН/м, а у раствора изова-

лериановой кислоты — с 43,2 мН/м до 35,0 мН/м. Сравните величины адсорбции веществ в данном интервале концентраций при  $T = 293$  К.

*Ответ:*  $\Gamma_1 = 4,44 \cdot 10^{-6}$  моль/м<sup>2</sup>;  $\Gamma_2 = 5,05 \cdot 10^{-6}$  моль/м<sup>2</sup>.

**22.** Определите, возрастает или убывает величина адсорбции ПАВ из водных растворов с ростом концентрации ( $T = 298$  К), если известны следующие экспериментальные данные:

$c$ , ммоль/л	$\sigma$ , мН/м
50	42,5
55	42,0
200	25,0
250	20,0

*Ответ:* адсорбция увеличивается с  $2,12 \cdot 10^{-6}$  моль/м<sup>2</sup> до  $9,09 \cdot 10^{-6}$  моль/м<sup>2</sup> с ростом концентрации ПАВ в растворе.

**23.** Вычислите, во сколько раз изменится величина адсорбции масляной кислоты из водного раствора с ростом концентрации по экспериментальным данным ( $T = 288$  К):

$c \cdot 10^2$ , моль/л	$\sigma \cdot 10^3$ , Н/м
0,78	70,0
1,56	69,1
12,5	55,1
25,0	47,9

*Ответ:*  $\Gamma_1 = 0,564 \cdot 10^{-6}$  моль/м<sup>2</sup>;  $\Gamma_2 = 4,51 \cdot 10^{-6}$  моль/м<sup>2</sup>;  $\Gamma_2/\Gamma_1 = 8$ , т.е. адсорбция увеличивается в 8 раз.

**24.** В 150 мл раствора серной кислоты с концентрацией 0,110 моль/л ввели 3 г катионита в Na<sup>+</sup>-форме. После установления равновесия ионного обмена отобрали 50 мл раствора, для нейтрализации которого потребовалось 22 мл 0,05 М раствора КОН. Рассчитайте полную обменную емкость анионита.

*Ответ:* 9,9 моль-экв/кг.

**25.** Полная обменная емкость сухого катионита в  $K^+$ -форме равна 4,8 моль-экв/кг. Определите предельно возможную массу ионов кобальта(II) и бария(II), которую может сорбировать из соответствующих растворов 1 кг исходного ионита.

*Ответ:* 141,4 г  $Co^{2+}$ , 329,6 г  $Ba^{2+}$ .

**26.** Смешали равные объемы 1%-ных растворов хлорида кальция и серной кислоты (плотности принять равными 1 г/мл). Напишите формулы мицеллы образовавшегося золя сульфата кальция.

*Ответ:* гранула заряжена отрицательно.

**27.** Какой объем раствора нитрата серебра с концентрацией 0,001 моль/л следует добавить к 10 мл раствора хлорида натрия с  $c(NaCl) = 0,002$  моль/л, чтобы получить золь, гранулы которого заряжены положительно? Напишите схему строения мицеллы золя.

*Ответ:* гранула заряжена положительно, объем раствора  $AgNO_3$  должен быть больше 0,02 л.

**28.** Золь  $BaC_2O_4$  получен смешением растворов  $BaCl_2$  и  $Na_2C_2O_4$ . Напишите формулу мицеллы золя, если известно, что при электрофорезе гранула перемещается к катоду.

*Ответ:* в избытке  $BaCl_2$ .

**29.** Золь получен при промывании свежеполученного осадка йодида серебра(I) раствором йодида натрия. Каким методом получен золь? Объясните, почему в проходящем свете он имеет красно-оранжевый оттенок, а в отраженном — голубой.

*Ответ:* пептизацией.

**30.** Напишите формулу мицеллы золя, полученного смешением 30 мл 0,01М раствора  $ZnSO_4$  и 40 мл 0,01М раствора  $Na_2S$ . Какие ионы будут переходить через мембрану при диализе этого золя?

Чем вызвана необходимость очистки золя? Каким методом получают золи, требующие очистки диализом: конденсационным и/или дисперсионным?

*Ответ:*  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{S}^{2-}$ ; конденсационным.

**31.** Гранулы золя берлинской лазури  $\text{KFe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  в электрическом поле перемещаются к аноду. Какое вещество ( $\text{FeCl}_3$  или  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ) служит стабилизатором этого золя?

*Ответ:*  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ .

**32.** Для золя сульфата бария пороги коагуляции электролитами следующие:

$c_{\text{пк}}(\text{KCl}) = 256,0$  ммоль/л;  $c_{\text{пк}}(\text{K}_2\text{SO}_4) = 3,9$  ммоль/л;

$c_{\text{пк}}(\text{K}_3\text{PO}_4) = 0,34$  ммоль/л.

Определите знак заряда гранул данного золя.

Выясните, подчиняются ли полученные экспериментальные данные закономерности, установленной Дерягиным и Ландау ( $\gamma \sim 1/z^6$ ).

*Ответ:* положительный; подчиняются.

**33.** Видимая коагуляция гидрозоль гидроксид железа(III) объемом 4 л наступила при добавлении 10 мл сульфата магния с молярной концентрацией  $8,3 \cdot 10^{-2}$  моль/л. Вычислите величину коагулирующей способности прибавленного электролита по отношению к исследуемому золю и определите, какие ионы вызывают коагуляцию.

*Ответ:* 4,82 л/ммоль;  $\text{SO}_4^{2-}$ .

**34.** Для коагуляции 100 мл золя гидроксид железа(III) добавляли один из следующих электролитов: 10,5 мл 0,1 М хлорида калия, 62,5 мл 0,01 М сульфата натрия, 37 мл 0,001 М фосфата натрия. Определите знак заряда золя.

*Ответ:* положительный.

**35.** Порог коагуляции золя гидроксида алюминия составляет 0,63 ммоль/л. Какое количество 0,01 М раствора дихромата калия надо добавить к 100 л золя, чтобы вызвать его коагуляцию?

*Ответ:* 6,3 мл.

**36.** К 20 мл 0,01 М раствора хлорида натрия добавим 200 мл 0,005 М раствора нитрата серебра и к равным объемам полученного золя поочередно добавим растворы: бромида натрия, хлорида бария, хромата калия, нитрата магния, хлорида алюминия. Какой из электролитов имеет наименьший порог коагуляции?

*Ответ:* хромат калия.

**37.** Какой минимальный объем сульфида аммония с концентрацией 0,001 моль/л следует добавить к 15 мл раствора хлорида марганца(II) с концентрацией 0,003 моль/л для того, чтобы получить золь с отрицательно заряженными частицами?

*Ответ:*  $V_{\text{р-ра}}(\text{NH}_4)_2\text{S} > 0,045 \text{ л.}$

**38.** Гранула берлинской лазури  $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$  в электрическом поле перемещается к аноду. Какое вещество служит стабилизатором? Напишите формулу мицеллы.

*Ответ:* стабилизатор –  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ .

**39.** К 100 мл 0,03%-ного раствора NaCl (плотность 1 г/мл) добавили 250 мл 0,001М раствора  $\text{AgNO}_3$ . Напишите формулу мицеллы золя. Какой из перечисленных электролитов вызовет коагуляцию этого золя с наименьшим порогом коагуляции: KCl,  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{AlCl}_3$ ?

*Ответ:* гранула заряжена отрицательно, следовательно, ионы-коагулянты – катионы. Наименьший порог коагуляции у  $\text{AlCl}_3$ .

**40.** Золь кремниевой кислоты получили при взаимодействии растворов  $\text{K}_2\text{SiO}_3$  и HCl. Напишите формулу мицеллы золя и определите, какой из электролитов был в избытке, если противоионы в электрическом поле движутся к катоду?

*Ответ:* в избытке  $\text{K}_2\text{SiO}_3$ .

**41.** Какой объем 0,001М раствора  $\text{FeCl}_3$  надо добавить к 0,03 л 0,002М раствора  $\text{AgNO}_3$ , чтобы частицы золя хлорида серебра в электрическом поле двигались к аноду? Напишите формулу мицеллы золя.

*Ответ:* объем  $\text{FeCl}_3$  должен быть больше 0,02 л.

**42.** Пороги коагуляции гидрозоль гидроксида железа(III) сульфатом натрия и хлоридом калия соответственно равны 0,32 ммоль/л и 20,50 ммоль/л. Определите знак заряда коллоидных частиц золя. Вычислите величины коагулирующей способности этих электролитов и сопоставьте их соотношение с вычисленным по правилу Шульце—Гарди.

*Ответ:* гранула золя заряжена положительно, для анионов  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{Cl}^-$  — правило Шульце—Гарди выполняется.

**43.** Коагулирующая способность электролитов по отношению к некоторому золю уменьшается в последовательности:  $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4 > (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 > \text{NH}_4\text{NO}_3$ . Каков знак заряда коллоидных частиц? Приведите примеры электролитов, коагулирующая способность которых будет примерно равной вышеуказанным.

*Ответ:* частицы золя заряжены положительно, коагулирующая способность ионов убывает в ряду:  $\text{PO}_4^{3-} > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^-$ .

**44.** Порог коагуляции золя сульфатом магния меньше, чем нитратом бария. Как заряжены частицы золя? Что можно сказать о пороге коагуляции этого же золя фосфатом калия?

*Ответ:*  $\text{K}_3\text{PO}_4$  будет вызывать коагуляцию с меньшим порогом коагуляции, так как фосфат-ионы обладают лучшей коагулирующей способностью к данному золю.

**45.** Коагуляция 1,5 л золя сульфида золота наступила при добавлении 570 мл раствора хлорида натрия с концентрацией 0,2 моль/л. Вычислите порог коагуляции золя ионами натрия.

*Ответ:*  $c_{\text{нк}} = 0,055$  моль/л.

**46.** Порог коагуляции золя гидроксида железа фосфат-ионами равен 0,37 ммоль/л. Какой объем 5%-ного раствора фосфата натрия ( $\rho = 1,05$  г/мл) требуется для коагуляции 750 мл золя?

*Ответ:* объем раствора  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  равен 0,87 мл.

**47.** Явная коагуляция 2 л золя гидроксида алюминия наступила при добавлении 10,6 мл раствора с концентрацией  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  0,01 моль/л. Вычислите порог коагуляции золя гексацианоферрат-ионами; напишите формулу мицеллы золя гидроксида алюминия.

*Ответ:*  $c_{\text{пк}} = 0,0527$  моль/л.

**48.** Порог коагуляции золя сульфида золота ионами кальция равен 0,69 ммоль/л. Какой объем раствора с концентрацией хлорида кальция 0,5 моль/л требуется для коагуляции 100 мл золя?

*Ответ:* объем раствора  $\text{CaCl}_2$  равен  $0,15 \cdot 10^{-3}$  л.

**49.** Определите знак заряда коллоидных частиц золя, если при его коагуляции электролитами получены следующие пороги коагуляции (в ммоль/л):  $c_{\text{пк}}(\text{KNO}_3) = 300$ ;  $c_{\text{пк}}(\text{MgCl}_2) = 320$ ;  $c_{\text{пк}}(\text{Na}_3\text{PO}_4) = 0,6$ .

*Ответ:* положительный.

**50.** Какой из электролитов,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  или  $\text{MgCl}_2$ , будет обладать большей коагулирующей способностью для золя йодида серебра, полученного смешиванием равных объемов раствора с концентрацией йодида калия 0,01 моль/л и раствора с концентрацией нитрата серебра 0,015 моль/л?

*Ответ:* коагулирующая способность  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  больше.

**51.** Для коагуляции отрицательно заряженного золя 10 мл  $\text{AgI}$  требуется 1,5 мл раствора с концентрацией  $\text{KNO}_3$  1 моль/л или 0,5 мл раствора с концентрацией  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  0,1 моль/л или

0,2 мл раствора с концентрацией  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$  0,01 моль/л. Выполняется ли правило  $c_{\text{пк}} \sim 1/z^6$ ?

*Ответ:* правило выполняется приближенно.

**52.** Золя  $\text{ZnS}$  получен смешением растворов  $\text{K}_2\text{S}$  и  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$  при некотором избытке  $\text{K}_2\text{S}$ . Напишите формулу мицеллы золя. Какой из электролитов –  $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{BaCl}_2$ ,  $\text{KI}$  – будет обладать наименьшей коагулирующей способностью?

*Ответ:*  $\text{KI}$ .

**53.** Написать формулу мицеллы золя золота, стабилизированного  $\text{KAuO}_2$ . У какого из электролитов –  $\text{NaCl}$ ,  $\text{BaCl}_2$ ,  $\text{FeCl}_3$  – порог коагуляции будет иметь меньшую величину?

*Ответ:* порог коагуляции меньше у  $\text{FeCl}_3$ .

**54.** Рассчитайте порог коагуляции хлорида аммония, если на коагуляцию 30 м<sup>3</sup> золя гидроксида алюминия расходуется 0,33 м<sup>3</sup> раствора с массовой долей хлорида аммония, равной 20% ( $\rho = 1069$  кг/м<sup>3</sup>). При замене хлорида аммония на сульфат аммония расход соли уменьшится или увеличится? Ответ поясните.

*Ответ:* 0,043 кмоль/м<sup>3</sup>.

**55.** Отходы производства фотоматериалов содержат бромид серебра в коллоидном состоянии. Рассчитайте расход сульфата алюминия на 100 м<sup>3</sup> сточных вод, предполагая, что знак заряда коллоидной частицы может быть: а) положительным, б) отрицательным. Порог коагуляции двухзарядных ионов составляет 2,43 кмоль/м<sup>3</sup>, трехзарядных ионов – 0,068 кмоль/м<sup>3</sup>.

*Ответ:* а) 83106 кг; б) 23256 кг.

**56.** При диагностике гнойного менингита определяют защитное число белков спинномозговой жидкости. Рассчитайте это число, если известно, что для предотвращения коагуляции 20 мл золя  $\text{AgBr}$  при действии 2 мл раствора с массовой долей

$\text{NaNO}_3$  10% потребовалось добавить к этому золю 3 мл спинно-мозговой жидкости, содержащей 2 г белков в 1 л.

*Ответ:* 0,003 г.

**57.** Для определения золотого числа желатина 1 мл 0,01%-ного раствора желатина внесли в 1-ю пробирку из 10 и провели серию из 10 последовательных разбавлений исходного раствора 1:2. Затем добавили по 10 мл красного золя золота и по 1 мл 10%-ного раствора хлорида натрия. В первых пяти пробирках изменений не наблюдалось, а в пробирках 6–10 раствор приобрел голубой оттенок. Чему равно золотое число?

*Ответ:* 0,01 мг.

**58.** Какую массу полимера необходимо взять для приготовления раствора с молярной концентрацией, равной 0,0025 моль/кг, если масса растворителя равна 1,5 кг? Молярная масса мономера равна 100 г/моль. Степень полимеризации — 100.

*Ответ:*  $m = 37,5$  г.

**59.** К какому электроду будут передвигаться частицы белка ( $pI = 4,0$ ) при электрофорезе в ацетатном буфере, приготовленном из 100 мл раствора с концентрацией ацетата натрия 0,1 моль/л и 25 мл раствора с концентрацией уксусной кислоты 0,2 моль/л?

*Ответ:* в данном буферном растворе белок заряжен отрицательно и при электрофорезе перемещается к аноду.

**60.** В растворе содержится смесь белков: глобулина ( $pI = 7$ ), альбумина ( $pI = 4,9$ ) и коллагена ( $pI = 4,0$ ). При каком значении рН можно электрофоретически разделить эти белки?

*Ответ:* электрофоретически белки можно разделить при  $pH = 4,9$ .

**61.** К какому электроду будут передвигаться частицы белка при электрофорезе, если его  $pI = 4$ , а  $pH$  раствора равен 5?

*Ответ:* частицы белка будут передвигаться к аноду.

**62.** Гемоглобин ( $pI = 6,68$ ) поместили в буферный раствор с концентрацией ионов водорода  $1,5 \cdot 10^{-6}$  моль/л. Определите направление движения молекул гемоглобина при электрофорезе. Известно, что  $pH$  в эритроцитах равен  $7,25$ . Какой заряд имеют молекулы гемоглобина при этом значении  $pH$ ?

*Ответ:* молекулы гемоглобина будут двигаться к катоду; при  $pH = 7,25$  молекулы гемоглобина имеют отрицательный заряд.

**63.** При каком значении  $pH$  следует разделять при помощи электрофореза два фермента ( $\Phi$ ) с изоэлектрическими точками, равными  $5$  ( $\Phi_1$ ) и  $3$  ( $\Phi_2$ )? Как заряжены частицы фермента в растворах с  $pH$   $4,6$  и  $7,9$ ?

*Ответ:* разделять следует при  $pH \approx 4$ ; при  $pH = 4,6$   $\Phi_1$  заряжен «+», а при  $pH = 7,9$  заряжен «-»;  $\Phi_2$  при  $pH = 4,6$  заряжен «-», при  $pH = 7,9$  – также «-».

**64.** Кодеин, имеющий изоэлектрическую точку при  $pH=4,7$ , находится в буферной смеси, составленной из  $50$  мл  $6\%$ -ного раствора уксусной кислоты и  $250$  мл  $0,49\%$ -ного раствора ацетата натрия. Константа диссоциации уксусной кислоты  $1,8 \cdot 10^{-5}$ , (плотность раствора равна  $1$ ).

Определите направление движения молекул кодеина при электрофорезе.

*Ответ:* к катоду.

**65.** Молекулы белка, находящиеся в буферной смеси, составленной из  $80$  мл  $0,24\%$  дигидрофосфата и  $120$  мл  $2,84\%$  гидрофосфата натрия, при электрофорезе перемещаются к катоду. В какой области значений  $pH$  (кислотной или щелочной) находится изоэлектрическая точка белка, если константа диссоциации ортофосфорной кислоты по второй ступени  $K_2 = 6,3 \cdot 10^{-8}$ ?

*Ответ:* в щелочной.

**66.** Какой заряд имеет карбоксигемоглобин ( $pI = 6,87$ ), помещённый в буферный раствор с  $pH = 7,21$ ?

*Ответ:* отрицательный.

**67.** Изоэлектрические точки  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -глобулинов крови человека равны, соответственно, 4,8; 5,2 и 6,4. Какой заряд имеют эти белки в крови здорового человека? У какого из глобулинов величина заряда больше? Ответ поясните.

*Ответ:* отрицательный, величина заряда больше у  $\alpha$ -глобулина.

**68.** Альбумин яйца с  $pI = 4,8$  помещен в раствор, в котором концентрация ионов гидроксидов в 10 раз меньше, чем в воде. Как заряжен альбумин в растворе?

*Ответ:* отрицательно.

**69.** Какой из красителей, кислый или основной, будет адсорбироваться макромолекулой белка в растворе с  $pH$ , равным 8, если  $pI$  белка = 5,6?

*Ответ:* кислый.

**70.** Осмотическое давление водного раствора пептида с массовой концентрацией  $1 \text{ кг/м}^3$  при температуре физиологической нормы равно  $292,7 \text{ Па}$ . Определите молекулярную массу пептида по средней молярной массе (молекула белка изодиаметрична  $\beta = 1$ ).

*Ответ:* молярная масса  $8,830 \text{ кг/моль}$ , относительная молекулярная масса  $8830$ .

**71.** Рассчитайте среднюю молярную массу полистирола, если осмотическое давление при  $25^\circ\text{C}$  равно  $120,9 \text{ Па}$ , а массовая концентрация —  $4,176 \text{ кг/м}^3$ ;  $\beta = 1 \text{ Па} \frac{\text{м}^6}{\text{кг}^2}$ .

*Ответ:*  $M = 99,916 \text{ кг/моль} = 99916 \text{ г/моль}$ .

**72.** В 1 литре раствора содержится 5 г амилозы. Осмотическое давление такого раствора при 27 °С равно 0,637 мм рт. ст. Вычислите молярную массу амилозы, не учитывая слагаемое  $\beta \cdot c^2$ .

*Ответ:*  $2,08 \cdot 10^5$  г/моль.

**73.** Рассчитайте осмотическое давление раствора, содержащего 5 г альбумина в 1 л при 25 °С, если средняя молярная масса данного белка равна 44 000 г/моль, белок находится в нейтральной форме.

*Ответ:* 0,306 кПа.

**74.** Осмотическое давление раствора, содержащего 26 г/л гемоглобина, в изоклектическом состоянии равно осмотическому давлению раствора, содержащего 0,0117 г/л хлорида натрия. Плотность растворов принять равной 1 г/мл, температура 25 °С, отклонением от закона Вант-Гоффа можно пренебречь. Рассчитайте молекулярную (молярную) массу гемоглобина.

*Ответ:* 65 000 г/моль.

**75.** Молярная масса некоторого ВМС равна 600 000 г/моль. Чему равно осмотическое давление такого раствора при 27 °С, если массовая концентрация вещества равна 6 г/л?

*Ответ:* 60,93 Па.

**76.** Определите осмотическое давление при 293 К водного раствора желатина, имеющего массовую концентрацию 2,5 кг/м<sup>3</sup>. Молярная масса желатина равна 104 600 г/моль, а коэффициент  $\beta = 0,69 \text{ Па} \cdot \text{м}^6 \cdot \text{кг}^{-2}$ .

*Ответ:* 62,5 Па.

**77.** Будет ли происходить набухание желатина ( $pI = 4,7$ ) в ацетатном буфере с равным содержанием компонентов при температуре 0 °С? Как можно идентифицировать процесс набухания желатина? Ответ поясните.

*Ответ:* набухание минимально вблизи изоэлектрической точки.

**78.** При набухании 200 г каучука поглотилось 964 мл хлороформа ( $\rho = 1,9$  г/мл). Рассчитайте степень набухания каучука и процентный состав полученного студня.

*Ответ:*  $a = 915,8\%$ ;  $\omega(\text{каучука}) = 9,84\%$ ;  
 $\omega(\text{хлороформа}) = 90,16\%$ .

**79.** Рассчитайте среднюю молярную массу полимера, если характеристическая вязкость  $[\eta]$  его равна  $0,126$  м<sup>3</sup>/кг, константа  $K = 5 \cdot 10^{-5}$ ,  $\alpha = 0,67$ .

*Ответ:*  $M = 119321$  г/моль.

**80.** Плотность оливкового масла при  $22$  °С —  $960$  кг/м<sup>3</sup>, а плотность воды при этой температуре —  $996$  кг/м<sup>3</sup>. Оливковое масло протекает через вискозиметр за  $21$  мин  $15,6$  сек, а тот же объем воды — за  $14$  сек. Вычислите вязкость оливкового масла при  $22$  °С. Вязкость воды  $\eta_{\text{H}_2\text{O}}^{22} = 9,58 \cdot 10^{-4}$  Н · с/м<sup>2</sup>.

*Ответ:* вязкость оливкового масла  $841,3 \cdot 10^{-4}$  Н · сек/м<sup>2</sup>.

**81.** Вязкость керосина при  $20$  °С равна  $1,8 \cdot 10^{-3}$  Па · с, а вязкость воды при тех же условиях —  $1,005 \cdot 10^{-3}$  Па · с (Н · с/м<sup>2</sup>). Определите плотность керосина, если известно, что время истечения керосина из вискозиметра —  $53$  сек, а такого же объема воды —  $24$  сек. Плотность воды  $998$  кг/м<sup>3</sup>.

*Ответ:* плотность керосина равна  $809,4$  кг/м<sup>3</sup>.

**82.** Определить молекулярную массу полиметилметакрилата по следующим данным вискозиметрического метода:

Концентрация раствора, кг/м <sup>3</sup>	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
Приведенная вязкость р-ра ВМС в бензоле $\eta_{\text{уд}}/\text{с}$	0,408	0,416	0,430	0,434	0,442	0,452

Константы:  $K = 4,7 \cdot 10^{-8}$ ,  $\alpha = 0,77$ .

*Ответ:*  $2,02 \cdot 10^5$ .

**83.** Рассчитайте молекулярную массу поливинилового спирта по данным вискозиметрии: характеристическая вязкость  $[\eta]$  равна 0,15.  $K = 4,53 \cdot 10^{-5}$ ,  $\alpha = 0,74$ .

*Ответ:* 56 200.

**84.** Рассчитайте относительную молекулярную массу белка миоглобина, если константы в уравнении Марка–Хаувинка для раствора данного белка в воде равны:  $K = 2,32 \cdot 10^{-2} \text{ см}^3/\text{г}$ ;  $\alpha = 0,5$ , а характеристическая вязкость равна  $3,1 \text{ см}^3/\text{г}$ .

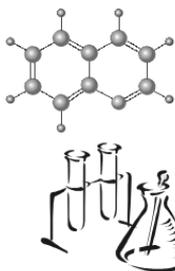
*Ответ:* 17 849.

**85.** Молекулярная масса полиакрилонитрила при различных концентрациях его в растворе дифенилформамида равна 75 000 и 39 100 при 293 К, а характеристическая вязкость — соответственно 0,299 и 0,110. Определите коэффициенты  $\alpha$  и  $K$  в уравнении Марка–Хаувинка для полиакрилонитрила в данном растворителе.

*Ответ:*  $K = 6,397 \cdot 10^{-8}$ ;  $\alpha = 1,537$ .

**86.** По одну сторону мембраны помещен раствор белка с концентрацией  $\text{PrtCl}$  0,1 моль/л, по другую — раствор с концентрацией хлорида натрия 0,2 моль/л. Рассчитайте концентрацию хлорид-ионов по обе стороны мембраны при установлении равновесия.

*Ответ:*  $c(\text{Cl}^-) = 0,12 \text{ моль/л}$ .



## ПРИЛОЖЕНИЯ

### 1. Основные физические постоянные

Постоянная Авогадро,  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$  моль<sup>-1</sup>.

Универсальная газовая постоянная,  $R = 8,31$  Дж/(моль · К).

Постоянная Больцмана,  $k = R/N_A = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К.

Нормальный молярный объем газа,  $V_0 = 22,4$  л/моль.

Постоянная Планка,  $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$  Дж · с.

Заряд электрона,  $\bar{e} = 1,60 \cdot 10^{-19}$  Кл.

Постоянная Фарадея,  $F = 9,65 \cdot 10^4$  Кл/моль.

### 2. Соотношения между единицами измерения и значения часто встречающихся величин

1 эрг =  $10^{-7}$  Дж

1 термхим. кал. = 4,184 Дж

1 мм рт. ст. = 133,3 Па

1 атм =  $1,01325 \cdot 10^5$  Па

1 Д =  $3,33564 \cdot 10^{-30}$  Кл · м

Газовая постоянная  $R = 8,31441$  Дж/(К · моль) =

= 1,98717 кал/(К · моль) =  $8,2057 \cdot 10^{-2}$  л · атм/(К · моль)

2,303  $R = 19,148$  Дж/(К · моль)

### 3. Основные единицы Международной системы измерений (СИ)

Величина	Единица	
	Наименование	Обозначение
<b>Основные величины</b>		
Длина	метр	м
Время	секунда	с
Масса	килограмм	кг
Сила электрического тока	ампер	А
Термодинамическая температура	кельвин	К
Количество вещества	моль	моль
<b>Производные величины пространства и времени</b>		
Площадь	квадратный метр	м <sup>2</sup>
Объем	кубический метр	м <sup>3</sup>
Скорость	метр в секунду	м/с
<b>Производные механические и тепловые величины</b>		
Плотность	килограмм на кубический метр	кг/м <sup>3</sup>
Сила, вес	ньютон	Н
Давление	паскаль	Па
Энергия, работа, количество теплоты, термодинамический потенциал	джоуль	Дж
Энтропия	джоуль на кельвин	Дж/К
<b>Производные электрические и магнитные величины</b>		
Количество электричества, электрический заряд	кулон	Кл
Электрическое напряжение, электрический потенциал, электродвижущая сила	вольт	В
Электрическое сопротивление	ом	Ом

#### 4. Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц и их обозначения

Множитель, на который умножается основная единица	Наименование	Обозначение	Множитель, на который умножается основная единица	Наименование	Обозначение
$10^{12}$	тера	Т	$10^{-1}$	деци	д
$10^9$	гига	Г	$10^{-2}$	санти	с
$10^6$	мега	М	$10^{-3}$	милли	м
$10^3$	кило	к	$10^{-6}$	микро	мк
$10^2$	гекто	г	$10^{-9}$	нано	н
10	дека	да	$10^{-12}$	пико	п

#### 5. Термодинамические свойства некоторых веществ, применяемых в медицине

$\Delta H_{\text{обр}}^{\circ}$  — стандартная теплота образования вещества, кДж/моль;

$\Delta G_{\text{обр}}^{\circ}$  — стандартное изменение энергии Гиббса при образовании сложного вещества из простых веществ, кДж/моль;

$S_{298}^{\circ}$  — стандартная энтропия вещества, Дж/(моль · К);

(к — кристаллическое состояние; ж — жидкое состояние; г — газообразное состояние;

*aq* — вещество (ион) в водном растворе)

Вещество или ион	Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^{\circ}$	$\Delta G_{\text{обр}}^{\circ}$	$\Delta S_{298}^{\circ}$
AgCl	к	-127	-109,7	96,1
AgBr	к	-100,4	-97,02	107
AgNO <sub>3</sub>	к	-123	-32,2	141
Ag <sub>2</sub> O	к	-30,6	-10,8	122

Вещество или ион	Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^{\circ}$	$\Delta G_{\text{обр}}^{\circ}$	$\Delta S_{298}^{\circ}$
Al	к	0	0	28,3
Al <sup>3+</sup>	<i>aq</i>	-525	-481	-313
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	корунд	-1670	-1576	51
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·3H <sub>2</sub> O	к	-2568	-2292	140
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	к	-1264	-1184	54
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	к	-1089	-963	89,6
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	<i>aq</i>	-1068	-963	160
Ba <sup>2+</sup>	<i>aq</i>	-538	-561	12,6
BaCl <sub>2</sub>	к	-860	-811	126
BaCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	к	-1462	-1296	203
BaSO <sub>4</sub>	к	-1465	-1353	132
Br <sub>2</sub>	ж	0	0	152
Br <sub>2</sub>	г	30,7	3,1	245
C	графит	0	0	5,7
C	алмаз	1,9	2,9	2,4
CO	г	-111	-137	198
CO <sub>2</sub>	г	-393,5	-394,4	214
CO <sub>2</sub>	<i>aq</i>	-413	-386	121
H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	<i>aq</i>	-700	-623	187
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<i>aq</i>	-691	-587	95
CS <sub>2</sub>	г	116,7	66,55	237,8
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	<i>aq</i>	-676	-528	-53
Ca <sup>2+</sup>	<i>aq</i>	-543	-553	-55
CaO	к	-636	-603	40
Ca(OH) <sub>2</sub>	к	-987	-897	76
CaSO <sub>4</sub>	к	-1432	-1320	107
CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	к	-1762	-1565	194
CaCl <sub>2</sub>	к	-795	-750	114
CaCl <sub>2</sub>	<i>aq</i>	-878	-815	55
CaCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	к	-2607	-	-
CaCO <sub>3</sub>	к	-1207	-1129	93
Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	к	-4120,8	-3884,9	235,98
Cl <sub>2</sub>	г	0	0	223
Cl <sub>2</sub> O	г	76	94	266
HCl	г	-92,3	-95,3	186,7

Вещество или ион	Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^{\circ}$	$\Delta G_{\text{обр}}^{\circ}$	$\Delta S_{298}^{\circ}$
HCl	<i>aq</i>	-167	-131	55
COCl <sub>2</sub>	г	-219,5	-205,31	283,64
CrO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	<i>aq</i>	-875	-721	46,0
Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> <sup>2-</sup>	<i>aq</i>	-1491	-1296	270
Cu <sup>2+</sup>	<i>aq</i>	64,4	65	99
CuCl	к	-136	-118	84,5
CuCl <sub>2</sub>	к	-206	-162	108
CuSO <sub>4</sub>	к	-770	-662	113
CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	к	-2278	-1880	305
F <sup>-</sup>	<i>aq</i>	-329	-276	-9,6
HF	г	-269	-271	174
Fe	к	0	0	27,2
FeO	к	-265	-244	61
Fe <sup>2+</sup>	<i>aq</i>	-88	-85	-113
Fe <sup>3+</sup>	<i>aq</i>	-48	-11	-293
Fe(OH) <sub>3</sub>	к	-824		
FeCO <sub>3</sub>	к	-753	-680	96
FeCl <sub>3</sub>	к	-405		
FeCl <sub>3</sub> ·6H <sub>2</sub> O	к	-2226		
FeSO <sub>4</sub>	к	-923	-820	108
FeSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	к	-3007	-	-
H <sub>2</sub>	г	0	0	131
H <sup>+</sup>	<i>aq</i>	0	0	0
OH <sup>-</sup>	<i>aq</i>	-230	-157	-10,5
H <sub>2</sub> O	ж	-286	-237	70
H <sub>2</sub> O	г	-242	-229	189
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	ж	-188	-120,5	109,6
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	г	-136	-105,7	234,4
Hg	ж	0	0	77
Hg	г	61	32	175
Hg <sup>2+</sup>	<i>aq</i>	173,5	-164,7	-25
HgCl <sub>2</sub>	к	-228	-181	140
Hg <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	к	-265	-211	196
HgO	к	-90	-58,4	73
K <sup>+</sup>	<i>aq</i>	-251	-282	103

Вещество или ион	Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^{\circ}$	$\Delta G_{\text{обр}}^{\circ}$	$\Delta S_{298}^{\circ}$
KOH	<i>aq</i>	-477	-441	92
KAl(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·12H <sub>2</sub> O	к	-6057	-5137	687
KBr	к	-392	-379	96
KBr	<i>aq</i>	-372	-385	183
KCl	к	-436	-408	83
KCl	г	-216	-235	239,5
KCl	<i>aq</i>	-419	-413	158
KClO <sub>3</sub>	к	-391	-290	143
KI	к	-328	-322	104
KI	<i>aq</i>	-307	-334	212
KNO <sub>3</sub>	к	-493	-393	133
KNO <sub>3</sub>	<i>aq</i>	-458	-393	291
KMnO <sub>4</sub>	к	-813	-714	172
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	к	-1438	-1320	176
Li <sup>+</sup>	<i>aq</i>	-278	-294	14
LiOH	к	-487	-444	50
Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	к	-1215	-1130	90
Mg <sup>2+</sup>	<i>aq</i>	-462	-456	-118
MgCO <sub>3</sub>	к	-1113	-1029	66
MgCl <sub>2</sub>	к	-642	-592	89,5
MgCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	к	-2500	-1279	366
MgO	к	-602	-570	27
Mg(OH) <sub>2</sub>	к	-925	-834	63
MgSO <sub>4</sub>	к	-1278	-1174	91,6
MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	к	-3384		
Mn <sup>2+</sup>	<i>aq</i>	-219	-223	-84
MnSO <sub>4</sub>	к	-1064	-956	112
N <sub>2</sub>	г	0	0	191,5
NH <sub>3</sub>	г	-46,2	-16,6	192,5
NH <sub>3</sub>	<i>aq</i>	-80,8	-26,6	110
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	<i>aq</i>	-133	-79,5	113
NH <sub>4</sub> Cl	к	-315	-204	94,6
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	к	-1179	-900	220
N <sub>2</sub> O	г	81,5	103,6	220
NO	г	90,4	86,7	210,6
NO <sub>2</sub>	г	33,8	51,8	240,5

Вещество или ион	Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^{\circ}$	$\Delta G_{\text{обр}}^{\circ}$	$\Delta S_{298}^{\circ}$
$\text{N}_2\text{O}_4$	г	9,7	98,3	304,3
$\text{HNO}_2$	<i>aq</i>	-119	-56	153
$\text{HNO}_3$	ж	-174	-80	155
$\text{NO}_3^-$	<i>aq</i>	-207	-114	146
Na	к	0	0	51
$\text{Na}^+$	<i>aq</i>	-240	-262	60
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	к	-1131	-1048	136
$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	к	-4077	-3906	2172
$\text{NaHCO}_3$	к	-948	-852	102
NaF	к	-569	-541	59
NaCl	к	-411	-384	72
$\text{NaNO}_2$	к	-359		
$\text{NaNO}_3$	к	-425	-366	116
NaOH	к	-427	-380	60
$\text{Na}_2\text{SO}_3$	к	-1117	-1043	146
$\text{Na}_2\text{SO}_4$	к	-1384	-1267	149
$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	к	-4324	-3644	593
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	к	-2602		
$\text{O}_2$	г	0	0	205
$\text{O}_3$	г	142	163	238
$\text{P}_4$	белый	0	0	44,4
P	красный	-17,4	-12	22,8
$\text{PCl}_3$	г	-306	-286	312
$\text{PCl}_5$	г	-399	-325	353
$\text{H}_2\text{PO}_4^-$	<i>aq</i>	-1302	-1135	89
$\text{HPO}_4^{2-}$	<i>aq</i>	-1299	-1094	-36
$\text{PO}_4^{3-}$	<i>aq</i>	-1284	-1026	-218
$\text{P}_2\text{O}_7^{4-}$	<i>aq</i>	-2276		
PbO	к	-218	-188	69
$\text{PbO}_2$	к	-277	-219	77
$\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$	к	-964		
$\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	к	-1854		
S	ромбич.	0	0	32

Вещество или ион	Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^{\circ}$	$\Delta G_{\text{обр}}^{\circ}$	$\Delta S_{298}^{\circ}$
S	МОНОКЛ.	0,3	0,1	32,6
SO <sub>2</sub>	г	-297	-300	249
SO <sub>3</sub>	г	-395	-370	256
H <sub>2</sub> S	г	-20	-33	206
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	<i>aq</i>	-907	-742	17
HSO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	<i>aq</i>	-886	-753	127
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	<i>aq</i>	-907	-742	17,2
SiO <sub>2</sub>	кварц	-859	-805	42
ZnO	к	-348	-318	44
ZnCl <sub>2</sub>	к	-416	-369	108
ZnSO <sub>4</sub>	к	-979	-872	125
ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	к	-3076	-2560	387
<b>Органические вещества</b>				
CH <sub>4</sub>	г	-75	-51	186
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	г	226	209	201
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	г	52	68	220
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	г	-84,7	-33	230
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	ж	49	124	173
CH <sub>3</sub> Cl	г	-82	-59	234
CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	г	-88	-59	271
CHCl <sub>3</sub>	г	-100	-67	296
CCl <sub>4</sub>	г	-107	-64	309
CH <sub>3</sub> Br	г	-35,6	-26	246
CH <sub>2</sub> Br <sub>2</sub>	г	-4,2	-5,9	294
CHBr <sub>3</sub>	г	25	16	331
CBr <sub>4</sub>	г	50	36	358
CH <sub>3</sub> OH	ж	-239	-166	127
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	ж	-278	-175	161
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OC <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	ж	-279,49	-123,05	253,13
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OC <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	г	-252,21	-122,39	342,67
Глицерин	ж	-669	-477	204,5
Формальдегид	г	-116	-110	219
Ацетальдегид	г	-166	-134	265

Вещество или ион	Состояние	$\Delta H^{\circ}_{обр}$	$\Delta G^{\circ}_{обр}$	$\Delta S^{\circ}_{298}$
Ацетон	ж	-248	-155	200
HCOOH	ж	-425	-361	129
HCOO <sup>-</sup>	aq	-410	-335	92
CH <sub>3</sub> COOH	ж	-485	-390	160
CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup>	aq	489	-404	205
C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> COOH	ж	-524	-377	255
C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> COO <sup>-</sup>	к	-536	-372	202
Глюкозо-1-фосфорная кислота	aq		-1789,5	
Нитробензол	ж	16	146	224
Анилин	ж	31	149	191
Глицин	к	-537	-378	103,5
Глицин	aq	-523	-380	169
Цистеин	к	-532,6	-342,7	169,9
L-лейцин	aq	-643,4	-352,3	207,5
D,L-лейцилглицин	aq		-464	
Глицилглицин	aq	-734,3	492,1	231,4
Пируват-ион	aq	-596,2	-472,4	171,5
L-молочная кислота	aq	-686	-539	222
Сахароза	к	-2222	-1543	360
D-глюкоза	aq	-1263,8	-917,0	269,5
D-глюкоза	к	-1274,5	-910,6	212,1

**6. Теплоты сгорания ( $\Delta H^{\circ}_{сгор}$ , кДж/моль) некоторых веществ**

Вещество	Состояние	$\Delta H^{\circ}_{сгор}$	Вещество	Состояние	$\Delta H^{\circ}_{сгор}$
H <sub>2</sub>	г	-286	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	г	-1300
CH <sub>4</sub>	г	-890	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	ж	-1368
CH <sub>3</sub> Br	г	-770	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OC <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	ж	-2727

Вещество	Состояние	$\Delta H^{\circ}_{\text{гор}}$	Вещество	Состояние	$\Delta H^{\circ}_{\text{гор}}$
CH <sub>3</sub> Cl	г	-687	NH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> COOH	к	-981
CH <sub>3</sub> I	ж	-815	CO(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	ж	-1786
CH <sub>3</sub> NH <sub>2</sub>	г	-1085	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O	ж	-1986
CH <sub>3</sub> OH	ж	-726	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	ж	-3268
CH <sub>2</sub> O	г	-561	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	ж	-3920
HCOOH	ж	-255	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> NH <sub>2</sub>	ж	-3396
CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	к	-634	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> NO <sub>2</sub>	ж	-3093
CHCl <sub>3</sub>	ж	-373	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH		-3054
CHI <sub>3</sub>	к	-677	Глюкоза	к	-2810
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	г	-1560	Фруктоза	к	-2827
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	г	-1411	CH <sub>3</sub> COOH	ж	-875

**7. Теплоты растворения в воде  
( $\Delta H^{\circ}_{\text{рас-я}}$ , кДж/моль) некоторых веществ,  
применяемых в медицине**

Вещество	$\Delta H^{\circ}_{\text{рас-я}}$	Вещество	$\Delta H^{\circ}_{\text{рас-я}}$
BaCl <sub>2</sub>	-8,7	MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	16,2
BaCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	20,6	NH <sub>3</sub>	-35,4
Ba(OH) <sub>2</sub>	-47,7	NH <sub>4</sub> Cl	16,3
CaCl <sub>2</sub>	-75,3	NaBr	0,8
CaCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	19,1	NaCl	5,4
CuSO <sub>4</sub>	-66,5	Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub>	-43,0
CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	11,7	Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> ·10H <sub>2</sub> O	108,2
FeSO <sub>4</sub>	-62,3	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	-23,6
FeSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	18,1	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ·10H <sub>2</sub> O	67,6
KBr	21,2	NaNO <sub>2</sub>	14,7
KCl	8,6	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-2,3
KI	21,4	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ·10H <sub>2</sub> O	79,1
MgCl <sub>2</sub>	-150,5	Pb(CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub>	-5,9
MgCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	-12,3	ZnSO <sub>4</sub>	-77,6
MgSO <sub>4</sub>	-84,9	ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	17,9

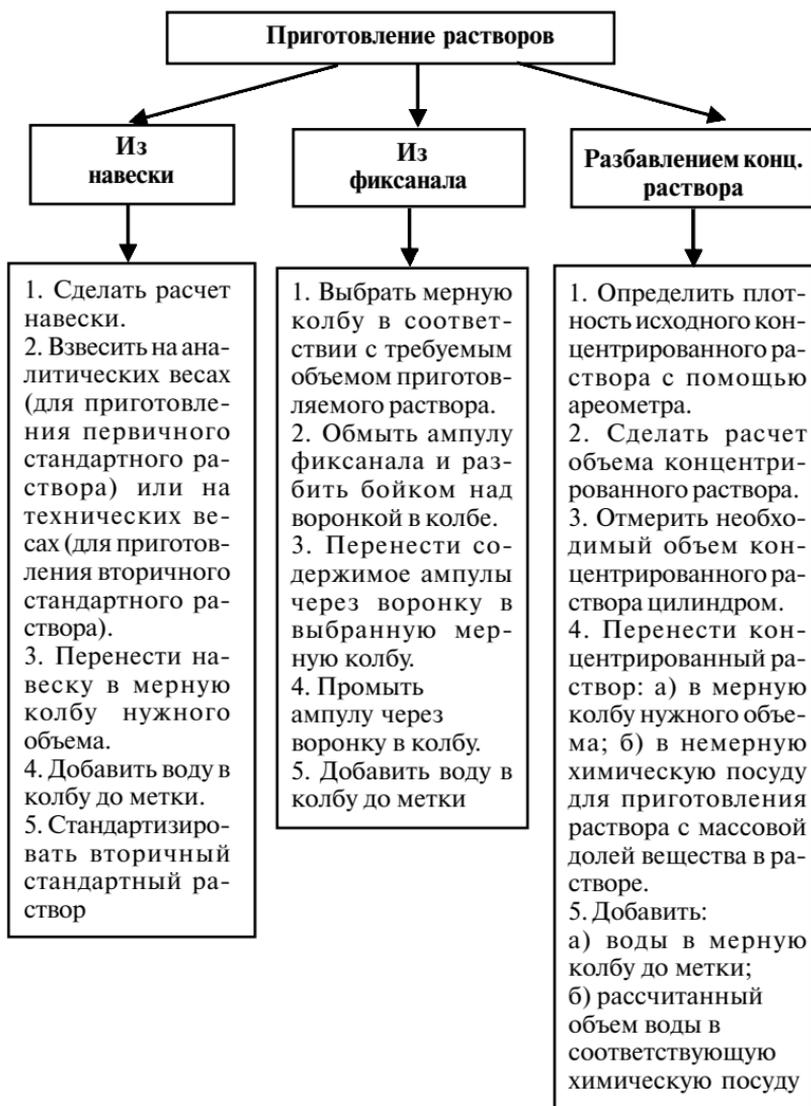
**8. Средняя удельная теплота полного окисления основных компонентов пищевых продуктов**

Вещество	$Q$ , кДж/г	$Q$ , ккал/г
Белки	17	4,1
Жиры	39	9,3
Углеводы	17	4,1

**9. Периоды полураспада некоторых радионуклидов, применяемых в медицине**

Нуклид	$t_{1/2}$	Нуклид	$t_{1/2}$
$^{14}\text{C}$	$5,71 \cdot 10^3$ лет	$^{226}\text{Ra}$	1600 лет
$^{144}\text{Ce}$	284,4 сут	$^{228}\text{Ra}$	5,76 года
$^{51}\text{Cr}$	27,703 сут	$^{222}\text{Rn}$	3,824 сут
$^{137}\text{Cs}$	30,17 года	$^{106}\text{Ru}$	367 сут
$^{131}\text{I}$	8,054 сут	$^{90}\text{Sr}$	28,7 года
$^{192}\text{Ir}$	74,08 сут	$^{95}\text{Zr}$	64 сут

## 10. Алгоритмы приготовления растворов



## 11. Схема процесса титриметрического анализа



## 12. Константы некоторых жидкостей, применяемых в качестве растворителей

Вещество	$t_{\text{зам}}, ^\circ\text{C}$	Криоскопическая константа, $K_{\text{кр}}, \text{град} \cdot \text{кг/моль}$	$t_{\text{кип}}, ^\circ\text{C}$	Эбулиометрическая постоянная, $K_{\text{эб}}, \text{кг/моль}$
Вода	0,00	1,86	100,0	0,52
Бензол	5,45	5,07	80,2	2,57
Нитробензол	5,85	6,9	211,03	5,27
Циклогексан	6,2	20,2	81,5	2,75
Диоксан	12,34	4,72	100,8	3,2
Диэтиловый эфир	—	1,79	34,6	2,02
Этанол	—114,0	—	78,0	1,15
Уксусная кислота	16,64	3,9	117,8	3,1
Камфора (кр)	$(t_{\text{пл}})$ 178,4	39,8	204,0	6,09

## 13. Интервал pH перехода окраски индикаторов

Название индикатора	Интервал pH перехода окраски индикатора
Метиловый оранжевый	3,1–4,0
Метиловый красный	4,2–6,2
Лакмус	5,0–8,0
Фенолфталеин	8,3–10,5



### 14. Ионное произведение воды $K_w$ при различных температурах

$t, ^\circ\text{C}$	$K_w \cdot 10^{14}$	$t, ^\circ\text{C}$	$K_w \cdot 10^{14}$	$t, ^\circ\text{C}$	$K_w \cdot 10^{14}$
0	0,11	31	1,58	60	9,55
5	0,17	32	1,70	70	15,8
10	0,30	33	1,82	80	25,8
15	0,46	34	1,95	90	38,8
20	0,69	35	2,09	100	55,0
25	1,0	40	2,95		

### 15. Средние значения водородного показателя (рН) биологических жидкостей

Объект	рН
Дистиллированная вода в контакте с воздухом	5,6
Морская вода	8,0
Сыворотка крови	7,35–7,45
Артериальная кровь	7,36–7,42
Венозная кровь	7,26–7,36
Спинномозговая жидкость	7,35–7,45
Водянистая влага глаза	7,4
Слезная жидкость	7,4
Слюна	6,35–6,85
Чистый желудочный сок	0,9
Желудочное содержимое через 45 мин после пробного завтрака	1,5–2,0
Сок поджелудочной железы	7,5–8,0
Молоко	6,6–6,9
Кожа (внутриклеточная жидкость)	6,6–6,9
Печень (внутриклеточная жидкость):	
купферовские клетки	6,4–6,5
клетки по периферии долек	7,1–7,4
клетки в центре долек	6,7–6,9
Желчь в протоках	7,4–8,5
Желчь в пузыре	5,4–6,9
Моча	4,8–7,5
Содержимое тонкого кишечника	7,0–8,0
Кал	7,0–7,5

**16. Константы кислотности и силовые показатели важнейших протолитических пар в водном растворе при 298 К**  
 $\text{HB}^x + \text{H}_2\text{O} = \text{B}^{x-1} + \text{H}_3\text{O}^+$

Кислота/основание	$\text{p}K_a$	$K_a$
$\text{Al}^{3+} \cdot \text{H}_2\text{O}/\text{AlOH}^{2+}$	5,02	$9,55 \cdot 10^{-6}$
$\text{H}_3\text{BO}_3/\text{B}(\text{OH})_4^-$	9,14	$7,24 \cdot 10^{-10}$
$\text{HBr}/\text{Br}^-$	-9	$10^9$
$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}/\text{HCO}_3^-$	6,37	$4,26 \cdot 10^{-7}$
$\text{HCO}_3^-/\text{CO}_3^{2-}$	10,33	$4,68 \cdot 10^{-11}$
$\text{H}_2\text{O}/\text{OH}^-$	15,74	$1,82 \cdot 10^{-16}$
$\text{H}_3\text{O}^+/\text{H}_2\text{O}$	0	1
$\text{H}_2\text{O}_2/\text{HO}_2^-$	11,62	$2,40 \cdot 10^{-12}$
$\text{HCOOH}/\text{HCOO}^-$	3,75	$1,79 \cdot 10^{-4}$
$\text{CH}_3\text{COOH}/\text{CH}_3\text{COO}^-$	4,76	$1,74 \cdot 10^{-5}$
$\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4/\text{HC}_2\text{O}_4^-$	1,19	$6,46 \cdot 10^{-2}$
$\text{HC}_2\text{O}_4^-/\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$	4,21	$6,16 \cdot 10^{-5}$
$\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}/\text{C}_2\text{H}_5\text{COO}^-$	4,87	$1,35 \cdot 10^{-5}$
$\text{CH}_2\text{ОНСНОНСООН}$ (глицериновая)/ $\text{CH}_2\text{ОНСНОНСОO}^-$ (глицерат-ион)	3,52	$3,0 \cdot 10^{-4}$
$\text{CH}_3\text{СНОНСООН}$ (молочная)/ $\text{CH}_3\text{СНОНСОO}^-$ (лактат-ион)	3,83	$1,48 \cdot 10^{-4}$
Аскорбиновая/аскорбат-ион $K_1$	4,1	$7,94 \cdot 10^{-5}$
$K_2$	11,8	$1,62 \cdot 10^{-12}$
Глюконовая/глюконат-ион	3,86	$1,38 \cdot 10^{-4}$
$\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}/\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-$	4,20	$6,31 \cdot 10^{-5}$
$\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}/\text{C}_6\text{H}_5\text{O}^-$	10,0	$10^{-10}$
$\text{Hnб}/\text{Hb}^-$	8,20	$6,31 \cdot 10^{-9}$
$\text{Hnб}-\text{O}_2$ (оксигемоглобин) / $\text{Hb}-\text{O}_2^-$	6,95	$1,12 \cdot 10^{-7}$
$\text{HClO}/\text{ClO}^-$	7,55	$2,82 \cdot 10^{-8}$
$\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$	9,24	$5,75 \cdot 10^{-10}$

Кислота/основание	$pK_a$	$K_a$
$CH_3NH_3^+ / CH_3NH_2$	10,66	$2,19 \cdot 10^{-11}$
$HCN/CN^-$	9,0	$10^{-9}$
$HNO_2/NO_2^-$	3,29	$5,13 \cdot 10^{-4}$
$H_3PO_4/H_2PO_4^-$	2,14	$7,24 \cdot 10^{-3}$
$H_2PO_4^-/HPO_4^{2-}$	7,21	$6,16 \cdot 10^{-8}$
$HPO_4^{2-}/PO_4^{3-}$	12,34	$4,57 \cdot 10^{-13}$
$H_2S/HS^-$	6,98	$1,05 \cdot 10^{-7}$
$HS^-/S^{2-}$	13	$10^{-13}$
$SO_2 + H_2O/$	1,78	$1,66 \cdot 10^{-2}$
$HSO_3^-/SO_3^{2-}$	7,20	$6,31 \cdot 10^{-8}$
$H_2SO_4/HSO_4^-$	-3	$10^3$
$HSO_4^-/SO_4^{2-}$	1,95	$1,12 \cdot 10^{-2}$
$Zn^{2+} \cdot H_2O/ZnOH^+$	7,69	$2,04 \cdot 10^{-8}$

### 17. Константы растворимости некоторых малорастворимых солей и гидроксидов (25 °С)

Вещество	$K_s$	Вещество	$K_s$
AgBr	$5,3 \cdot 10^{-13}$	FeC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	$2,0 \cdot 10^{-7}$
AgCl	$1,78 \cdot 10^{-10}$	Fe(OH) <sub>2</sub>	$1,6 \cdot 10^{-14}$
AgI	$8,3 \cdot 10^{-17}$	Fe(OH) <sub>3</sub>	$3,2 \cdot 10^{-38}$
Ag <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	$1,2 \cdot 10^{-12}$	FePO <sub>4</sub>	$1,3 \cdot 10^{-22}$
Ag <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	$3,5 \cdot 10^{-11}$	FeS	$5,0 \cdot 10^{-18}$
Ag <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	$1,1 \cdot 10^{-12}$	Hg <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	$1,3 \cdot 10^{-18}$
Ag <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	$1,0 \cdot 10^{-10}$	HgS	$4,0 \cdot 10^{-53}$
AgCN	$1,4 \cdot 10^{-16}$	Hg <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	$6,8 \cdot 10^{-7}$
AgSCN	$1,1 \cdot 10^{-12}$	Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	$3,98 \cdot 10^{-3}$
AgNO <sub>2</sub>	$1,6 \cdot 10^{-4}$	LiF	$3,8 \cdot 10^{-3}$
Ag <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	$1,3 \cdot 10^{-20}$	Li <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	$3,2 \cdot 10^{-9}$
Ag <sub>2</sub> S	$6,3 \cdot 10^{-50}$	MgCO <sub>3</sub>	$2,1 \cdot 10^{-5}$
Ag <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	$1,5 \cdot 10^{-14}$	MgC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	$8,6 \cdot 10^{-5}$
Ag <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	$1,6 \cdot 10^{-5}$	Mg(OH) <sub>2</sub>	$6,0 \cdot 10^{-10}$
Al(OH) <sub>3</sub>	$1,0 \cdot 10^{-32}$	Mg <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	$1,0 \cdot 10^{-13}$

<b>Вещество</b>	<b><math>K_s</math></b>	<b>Вещество</b>	<b><math>K_s</math></b>
AlPO <sub>4</sub>	$5,7 \cdot 10^{-19}$	MnCO <sub>3</sub>	$1,8 \cdot 10^{-11}$
AuBr	$5,0 \cdot 10^{-17}$	Mn(OH) <sub>2</sub>	$4,5 \cdot 10^{-13}$
AuCl	$2,0 \cdot 10^{-13}$	MnS	$2,5 \cdot 10^{-10}$
AuI	$1,6 \cdot 10^{-23}$	Ni(OH) <sub>2</sub>	$1,2 \cdot 10^{-16}$
BaCO <sub>3</sub>	$4,0 \cdot 10^{-10}$	PbBr <sub>2</sub>	$9,1 \cdot 10^{-6}$
BaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	$1,1 \cdot 10^{-7}$	PbCl <sub>2</sub>	$1,6 \cdot 10^{-5}$
BaCrO <sub>4</sub>	$1,2 \cdot 10^{-10}$	PbI <sub>2</sub>	$1,1 \cdot 10^{-9}$
BaF <sub>2</sub>	$1,1 \cdot 10^{-6}$	PbCO <sub>3</sub>	$7,5 \cdot 10^{-14}$
Ba(OH) <sub>2</sub>	$5,0 \cdot 10^{-3}$	PbC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	$4,8 \cdot 10^{-10}$
Ba <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	$6,0 \cdot 10^{-39}$	PbCrO <sub>4</sub>	$1,8 \cdot 10^{-14}$
BaSO <sub>3</sub>	$8,0 \cdot 10^{-7}$	Pb(OH) <sub>2</sub>	$1,1 \cdot 10^{-20}$
BaSO <sub>4</sub>	$1,1 \cdot 10^{-10}$	Pb <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	$7,9 \cdot 10^{-43}$
CaCO <sub>3</sub>	$3,8 \cdot 10^{-9}$	PbS	$2,5 \cdot 10^{-27}$
CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	$2,3 \cdot 10^{-9}$	PbSO <sub>4</sub>	$1,6 \cdot 10^{-8}$
CaC <sub>4</sub> H <sub>4</sub> O <sub>6</sub>	$7,7 \cdot 10^{-7}$	Sr(OH) <sub>2</sub>	$3,2 \cdot 10^{-4}$
CaF <sub>2</sub>	$4,0 \cdot 10^{-11}$	SrCO <sub>3</sub>	$1,1 \cdot 10^{-10}$
Ca(OH) <sub>2</sub>	$5,5 \cdot 10^{-6}$	SrC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	$1,6 \cdot 10^{-7}$
Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	$1,0 \cdot 10^{-3}$	Sr <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	$1,0 \cdot 10^{-31}$
CaHPO <sub>4</sub>	$2,7 \cdot 10^{-7}$	SrSO <sub>3</sub>	$4,0 \cdot 10^{-8}$
Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	$2,0 \cdot 10^{-29}$	SrSO <sub>4</sub>	$3,2 \cdot 10^{-7}$
CaSO <sub>3</sub>	$3,2 \cdot 10^{-7}$	TlBr	$3,9 \cdot 10^{-6}$
CaSO <sub>4</sub>	$2,5 \cdot 10^{-5}$	TlCl	$1,7 \cdot 10^{-4}$
CdCO <sub>3</sub>	$5,2 \cdot 10^{-12}$	TlI	$5,75 \cdot 10^{-8}$
CdC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	$1,5 \cdot 10^{-8}$	Tl <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	$4,0 \cdot 10^{-3}$
Cd(OH) <sub>2</sub>	$1,8 \cdot 10^{-14}$	Tl <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	$2,0 \cdot 10^{-4}$
CdS	$1,0 \cdot 10^{-29}$	Tl <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	$6,7 \cdot 10^{-8}$
Cr(OH) <sub>3</sub>	$6,3 \cdot 10^{-31}$	TlS	$5,0 \cdot 10^{-21}$
Cu(OH) <sub>2</sub>	$5,0 \cdot 10^{-20}$	Tl <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	$6,3 \cdot 10^{-4}$
CuS	$6,3 \cdot 10^{-36}$	Tl <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	$4,0 \cdot 10^{-3}$
Cu <sub>2</sub> S	$2,5 \cdot 10^{-48}$	Zn(OH) <sub>2</sub>	$7,1 \cdot 10^{-18}$
Co(OH) <sub>2</sub>	$4,7 \cdot 10^{-16}$	ZnS	$1,6 \cdot 10^{-24}$

**18. Константы нестойкости комплексных ионов в водных растворах (25 °С)**

$M^{n+}$	Лиганд	Константа	$M^{n+}$	Лиганд	Константа
$Al^{3+}$	$OH^-$	$K_{1-4} = 1 \cdot 10^{-33}$	$Cu^{2+}$	Гистидин	$K_{1-2} = 4,68 \cdot 10^{-19}$
$Zn^{2+}$	$OH^-$	$K_{1-4} = 1,99 \cdot 10^{-18}$	$Zn^{2+}$	Гистидин	$K_{1-2} = 1,32 \cdot 10^{-13}$
$Cu^{2+}$	$OH^-$	$K_{1-4} = 2,75 \cdot 10^{-15}$	$Al^{3+}$	ЭДТА <sup>4-</sup> -ион	$K_1 = 3,2 \cdot 10^{-17}$
$Cr^{3+}$	$OH^-$	$K_{1-4} = 1,26 \cdot 10^{-30}$	$Ba^{2+}$	ЭДТА <sup>4-</sup> -ион	$K_1 = 1,7 \cdot 10^{-8}$
$Cd^{2+}$	$OH^-$	$K_{1-4} = 2 \cdot 10^{-9}$	$Bi^{3+}$	ЭДТА <sup>4-</sup> -ион	$K_1 = 4,0 \cdot 10^{-28}$
Zn	(H <sub>2</sub> O)	$K_{1-4} = 2,1 \cdot 10^{-10}$	$Ca^{2+}$	ЭДТА <sup>4-</sup> -ион	$K_1 = 2,6 \cdot 10^{-11}$
$Ag^+$	$NH_3$	$K_{1-2} = 5,9 \cdot 10^{-8}$	$Cd^{2+}$	ЭДТА <sup>4-</sup> -ион	$K_1 = 3,5 \cdot 10^{-17}$
$Cd^{2+}$	$NH_3$	$K_{1-4} = 2,8 \cdot 10^{-7}$	$Co^{2+}$	ЭДТА <sup>4-</sup> -ион	$K_1 = 4,9 \cdot 10^{-17}$
$Co^{2+}$	$NH_3$	$K_{1-4} = 8,5 \cdot 10^{-6}$	$Co^{3+}$	ЭДТА <sup>4-</sup> -ион	$K_1 = 2,5 \cdot 10^{-41}$
$Co^{2+}$	$NH_3$	$K_{1-6} = 4,1 \cdot 10^{-5}$	$Cr^{3+}$	ЭДТА <sup>4-</sup> -ион	$K_1 = 4,0 \cdot 10^{-21}$
$Co^{3+}$	$NH_3$	$K_{1-6} = 6,2 \cdot 10^{-36}$	$Cu^{2+}$	ЭДТА <sup>4-</sup> -ион	$K_1 = 1,6 \cdot 10^{-19}$
$Hg^{2+}$	$NH_3$	$K_{1-4} = 1,1 \cdot 10^{-12}$	$Fe^{2+}$	ЭДТА <sup>4-</sup> -ион	$K_1 = 6,3 \cdot 10^{-15}$
$Hg^{2+}$	$NH_3$	$K_{1-4} = 5,0 \cdot 10^{-20}$	$Fe^{3+}$	ЭДТА <sup>4-</sup> -ион	$K_1 = 5,9 \cdot 10^{-25}$
$Ni^{2+}$	$NH_3$	$K_{1-4} = 3,4 \cdot 10^{-8}$	$Hg^{2+}$	ЭДТА <sup>4-</sup> -ион	$K_1 = 1,6 \cdot 10^{-22}$
$Zn^{2+}$	$NH_3$	$K_{1-4} = 8,3 \cdot 10^{-12}$	$Mg^{2+}$	ЭДТА <sup>4-</sup> -ион	$K_1 = 7,6 \cdot 10^{-10}$
$Al^{3+}$	$F^-$	$K_{1-6} = 2,1 \cdot 10^{-21}$	$Mn^{2+}$	ЭДТА <sup>4-</sup> -ион	$K_1 = 9,1 \cdot 10^{-15}$
$Al^{3+}$	$F^-$	$K_{1-6} = 2,1 \cdot 10^{-21}$	$Pb^{2+}$	ЭДТА <sup>4-</sup> -ион	$K_1 = 9,1 \cdot 10^{-19}$
$Fe^{3+}$	$F^-$	$K_{1-6} = 7,9 \cdot 10^{-17}$	$Pt^{4+}$	ЭДТА <sup>4-</sup> -ион	$K_1 = 2,9 \cdot 10^{-7}$
$Bi^{3+}$	$Br^-$	$K_{1-6} = 3,0 \cdot 10^{-10}$	$Pt^{3+}$	ЭДТА <sup>4-</sup> -ион	$K_1 = 1,6 \cdot 10^{-38}$
$Hg^{2+}$	$Br^-$	$K_{1-4} = 1,0 \cdot 10^{-21}$	$Zn^{2+}$	ЭДТА <sup>4-</sup> -ион	$K_1 = 5,5 \cdot 10^{-17}$
$Pt^{2+}$	$Br^-$	$K_{1-4} = 3,2 \cdot 10^{-21}$	$Ca^{2+}$	Тартрат-ион	$K_{1-2} = 9,8 \cdot 10^{-10}$
$Bi^{3+}$	$Cl^-$	$K_{1-6} = 3,8 \cdot 10^{-7}$	$Fe^{3+}$	Тартрат-ион	$K_{1-2} = 1,4 \cdot 10^{-12}$
$Pt^{2+}$	$Cl^-$	$K_{1-4} = 1 \cdot 10^{-16}$	$Ca^{2+}$	Цитрат-ион	$K_1 = 2,1 \cdot 10^{-5}$
$Bi^{3+}$	$I^-$	$K_{1-6} = 7,98 \cdot 10^{-20}$	$Mg^{2+}$	Цитрат-ион	$K_1 = 1,1 \cdot 10^{-4}$
$Hg^{2+}$	$I^-$	$K_{1-4} = 1,5 \cdot 10^{-30}$	$Cu^{2+}$	Цитрат-ион	$K_1 = 1,3 \cdot 10^{-6}$
$Pb^{2+}$	$I^-$	$K_{1-4} = 1,2 \cdot 10^{-4}$	$Hg^{2+}$	Цитрат-ион	$K_1 = 1,3 \cdot 10^{-11}$
$Cd^{2+}$	$I^-$	$K_{1-5} = 7,1 \cdot 10^{-6}$	$Mg^{2+}$	Глицинат-ион	$K_{1-2} = 3,5 \cdot 10^{-7}$
$Hg^{2+}$	$I^-$	$K_{1-4} = 1,5 \cdot 10^{-30}$	$Ca^{2+}$	Глицинат-ион	$K_1 = 4,2 \cdot 10^{-2}$
$Ag^+$	$CN^-$	$K_{1-2} = 1,4 \cdot 10^{-20}$	$Mn^{2+}$	Глицинат-ион	$K_1 = 3,6 \cdot 10^{-4}$
$Au^+$	$CN^-$	$K_{1-2} = 5,0 \cdot 10^{-30}$	$Fe^{2+}$	Глицинат-ион	$K_{1-2} = 1,6 \cdot 10^{-8}$
$Cd^{2+}$	$CN^-$	$K_{1-4} = 7,8 \cdot 10^{-18}$	$Co^{2+}$	Глицинат-ион	$K_{1-2} = 5,6 \cdot 10^{-10}$
$Co^{2+}$	$CN^-$	$K_{1-6} = 8,1 \cdot 10^{-20}$	$Ni^{2+}$	Глицинат-ион	$K_{1-2} = 2,7 \cdot 10^{-11}$
$Co^{3+}$	$CN^-$	$K_{1-6} = 1 \cdot 10^{-64}$	$Cu^{2+}$	Глицинат-ион	$K_{1-2} = 2,6 \cdot 10^{-16}$
$Cu^+$	$CN^-$	$K_{1-4} = 2,0 \cdot 10^{-30}$	$Zn^{2+}$	Глицинат-ион	$K_{1-2} = 1,1 \cdot 10^{-10}$
$Fe^{2+}$	$CN^-$	$K_{1-6} = 1,3 \cdot 10^{-37}$	$Mn^{2+}$	Цистеинат-ион	$K_1 = 7,94 \cdot 10^{-5}$
$Fe^{3+}$	$CN^-$	$K_{1-6} = 1,3 \cdot 10^{-44}$	$Fe^{2+}$	Цистеинат-ион	$K_{1-2} = 1,7 \cdot 10^{-12}$
$Ni^{2+}$	$CN^-$	$K_{1-4} = 1,0 \cdot 10^{-31}$	$Co^{2+}$	Цистеинат-ион	$K_{1-2} = 1,26 \cdot 10^{-17}$
$Zn^{2+}$	$CN^-$	$K_{1-4} = 1,74 \cdot 10^{-17}$			
$Hg^{2+}$	$CN^-$	$K_{1-4} = 3,98 \cdot 10^{-42}$			

$M^{n+}$	Лиганд	Константа	$M^{n+}$	Лиганд	Константа
$Ag^+$	$SCN^-$	$K_{1-2} = 5,9 \cdot 10^{-9}$	$Ni^{2+}$	Цистеинат-ион	$K_{1-2} = 5,01 \cdot 10^{-20}$
$Bi^{3+}$	$SCN^-$	$K_{1-6} = 5,9 \cdot 10^{-5}$	$Zn^{2+}$	Цистеинат-ион	$K_{1-2} = 2,0 \cdot 10^{-19}$
$Co^{2+}$	$SCN^-$	$K_{1-3} = 1,6 \cdot 10^{-2}$	$Mg^{2+}$	Аспаргиновая к-та	$K_1 = 3,72 \cdot 10^{-5}$
$Cu^{2+}$	$SCN^-$	$K_{1-3} = 3,0 \cdot 10^{-7}$	$Ca^{2+}$	Аспаргиновая к-та	$K_1 = 2,51 \cdot 10^{-2}$
$Fe^{3+}$	$SCN^-$	$K_{1-6} = 5,9 \cdot 10^{-4}$	$Mn^{2+}$	Аспаргиновая к-та	$K_1 = 1,82 \cdot 10^{-4}$
$Hg^{2+}$	$SCN^-$	$K_{1-4} = 6,3 \cdot 10^{-22}$	$Co^{2+}$	Аспаргиновая к-та	$K_{1-2} = 6,61 \cdot 10^{-11}$
$Ag^+$	$S_2O_3^{2-}$	$K_{1-3} = 7,1 \cdot 10^{-15}$	$Cu^{2+}$	Аспаргиновая к-та	$K_{1-2} = 4,47 \cdot 10^{-16}$
$Cd^{2+}$	$S_2O_3^{2-}$	$K_{1-3} = 6,3 \cdot 10^{-9}$	$Zn^{2+}$	Аспаргиновая к-та	$K_{1-2} = 7,08 \cdot 10^{-11}$
$Cu^+$	$S_2O_3^{2-}$	$K_{1-3} = 1,9 \cdot 10^{-14}$	$Mg^{2+}$	Глутаминовая к-та	$K_1 = 1,26 \cdot 10^{-2}$
$Pb^{2+}$	$S_2O_3^{2-}$	$K_{1-4} = 6,3 \cdot 10^{-8}$	$Ca^{2+}$	Глутаминовая к-та	$K_1 = 8,91 \cdot 10^{-3}$
$Hg^{2+}$	$S_2O_3^{2-}$	$K_{1-4} = 2,4 \cdot 10^{-34}$	$Mn^{2+}$	Глутаминовая к-та	$K_1 = 5,01 \cdot 10^{-4}$
$Ag^+$	$SO_3^{2-}$	$K_{1-3} = 1 \cdot 10^{-9}$	$Fe^{2+}$	Глутаминовая к-та	$K_1 = 2,51 \cdot 10^{-5}$
$Cu^+$	$SO_3^{2-}$	$K_{1-3} = 4,4 \cdot 10^{-10}$	$Co^{2+}$	Глутаминовая к-та	$K_{1-2} = 3,47 \cdot 10^{-9}$
$Hg^{2+}$	$SO_3^{2-}$	$K_{1-3} = 1,1 \cdot 10^{-25}$	$Ni^{2+}$	Глутаминовая к-та	$K_{1-2} = 4,57 \cdot 10^{-11}$
$Ag^+$	$NO_2^-$	$K_{1-2} = 1,5 \cdot 10^{-3}$	$Cu^{2+}$	Глутаминовая к-та	$K_{1-2} = 3,98 \cdot 10^{-15}$
$Cd^{2+}$	$NO_2^-$	$K_{1-3} = 1,5 \cdot 10^{-4}$	$Zn^{2+}$	Глутаминовая к-та	$K_{1-2} = 3,47 \cdot 10^{-10}$
$Al^{3+}$	$C_2O_4^{2-}$	$K_{1-3} = 5,0 \cdot 10^{-17}$	$Ni^{2+}$	Салицилат-ион	$K_{1-2} = 1,8 \cdot 10^{-12}$
$Cr^{3+}$	$C_2O_4^{2-}$	$K_{1-3} = 3,6 \cdot 10^{-16}$	$Cu^{2+}$	Салицилат-ион	$K_{1-2} = 2,0 \cdot 10^{-21}$
$Fe^{3+}$	$C_2O_4^{2-}$	$K_{1-3} = 6,3 \cdot 10^{-21}$	$Co^{3+}$	Салицилат-ион	$K_{1-2} = 3,8 \cdot 10^{-12}$
$Mn^{3+}$	$C_2O_4^{2-}$	$K_{1-3} = 3,8 \cdot 10^{-20}$	$Fe^{3+}$	Салицилат-ион	$K_{1-3} = 5,4 \cdot 10^{-37}$
$Ca^{2+}$	Серин	$K_1 \sim 0,32$	$Mg^{2+}$	Глицил-глицин	$K_1 = 8,7 \cdot 10^{-2}$
$Fe^{2+}$	Серин	$K_1 = 10^{-7}$	$Ca^{2+}$	Глицил-глицин	$K_1 = 5,75 \cdot 10^{-2}$

М <sup>n+</sup>	Лиганд	Константа	М <sup>n+</sup>	Лиганд	Константа
Co <sup>2+</sup>	Серин	$K_1 = 10^{-8}$	Mn <sup>2+</sup>	Глицил-глицин	$K_1 = 7,08 \cdot 10^{-3}$
Cu <sup>2+</sup>	Серин	$K_{1,2} = 2,83 \cdot 10^{-15}$	Co <sup>2+</sup>	Глицил-глицин	$K_{1,2} = 1,32 \cdot 10^{-6}$
Mg <sup>2+</sup>	Пролин	$K > 10^{-4}$	Cu <sup>2+</sup>	Глицил-глицин	$K_{1,2} = 2,19 \cdot 10^{-12}$
Mn <sup>2+</sup>	Пролин	$K_{1,2} = 3,16 \cdot 10^{-6}$	Zn <sup>2+</sup>	Глицил-глицин	$K_{1,2} = 2,69 \cdot 10^{-7}$
Fe <sup>2+</sup>	Пролин	$K_{1,2} = 5,01 \cdot 10^{-9}$	Mg <sup>2+</sup>	Аспаргин	$K_{1,2} = 10^{-4}$
Co <sup>2+</sup>	Пролин	$K_{1,2} = 5,01 \cdot 10^{-10}$	Mn <sup>2+</sup>	Аспаргин	$K_{1,2} \sim 3,2 \cdot 10^{-5}$
Cu <sup>2+</sup>	Пролин	$K_{1,2} = 1,58 \cdot 10^{-17}$	Fe <sup>2+</sup>	Аспаргин	$K_{1,2} = 3,16 \cdot 10^{-19}$
Zn <sup>2+</sup>	Пролин	$K_{1,2} = 6,31 \cdot 10^{-11}$	Co <sup>2+</sup>	Аспаргин	$K_{1,2} = 7,41 \cdot 10^{-9}$
Mn <sup>2+</sup>	Лизин	$K_1 = 10^{-2}$	Ni <sup>2+</sup>	Аспаргин	$K_{1,2} = 2,51 \cdot 10^{-11}$
Fe <sup>2+</sup>	Лизин	$K_1 = 3,16 \cdot 10^{-5}$	Cu <sup>2+</sup>	Аспаргин	$K_{1,2} = 1,26 \cdot 10^{-15}$
Co <sup>2+</sup>	Лизин	$K_{1,2} = 1,68 \cdot 10^{-7}$	Zn <sup>2+</sup>	Аспаргин	$K_{1,2} = 2,0 \cdot 10^{-9}$
Ni <sup>2+</sup>	Лизин	$K_{1,2} = 1,58 \cdot 10^{-9}$	Mn <sup>2+</sup>	Гли-Гли-Гли	$K_1 = 3,89 \cdot 10^{-2}$
Cu <sup>2+</sup>	Лизин	$K_{1,2} = 2,0 \cdot 10^{-14}$	Co <sup>2+</sup>	Гли-Гли-Гли	$K_{1,2} = 2,57 \cdot 10^{-6}$
Zn <sup>2+</sup>	Лизин	$K_{1,2} = 2,51 \cdot 10^{-8}$	Cu <sup>2+</sup>	Гли-Гли-Гли	$K_{1,2} = 2,75 \cdot 10^{-11}$
Mn <sup>2+</sup>	Гисти-дин	$K_{1,2} = 1,82 \cdot 10^{-8}$	Zn <sup>2+</sup>	Гли-Гли-Гли	$K_{1,2} = 4,79 \cdot 10^{-7}$
Fe <sup>2+</sup>	Гисти-дин	$K_{1,2} = 5,01 \cdot 10^{-10}$			
Co <sup>2+</sup>	Гисти-дин	$K_{1,2} = 1,38 \cdot 10^{-14}$			
Ni <sup>2+</sup>	Гисти-дин	$K_{1,2} = 1,26 \cdot 10^{-16}$			

### 19. Стандартные восстановительные (редокс) потенциалы (25 °С)

Полуреакция	$\phi^0, \text{В}$	Полуреакция	$\phi^0, \text{В}$
$\text{Ag}^+ + e \rightleftharpoons \text{Ag} \downarrow$	+0,80	$\text{Mn}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Mn}$	-1,18
$\text{Ag}^{2+} + e \rightleftharpoons \text{Ag}^+$	+1,98	$[\text{Mn}(\text{CN})_6]^{3-} + e \rightleftharpoons$	-0,24
$[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+ + e \rightleftharpoons$	+0,373	$[\text{Mn}(\text{CN})_6]^{4-}$	
$\text{Ag} \downarrow + 2\text{NH}_3$		$\text{MnO}_4^- + e \rightleftharpoons$	+0,56
		$\text{MnO}_4^{2-}$	

Полуреакция	$\phi^{\circ}, \text{В}$	Полуреакция	$\phi^{\circ}, \text{В}$
$\text{AgCl} + e \rightleftharpoons \text{Ag}\downarrow + \text{Cl}^-$	+0,22	$\text{MnO}_4^- + 8\text{H}^+ + 5e \rightleftharpoons \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$	+1,51
$\text{Au}^+ + e \rightleftharpoons \text{Au}\downarrow$	+1,68	$\text{MnO}_4^- + 2\text{H}_2\text{O} + 3e \rightleftharpoons \text{MnO}_2 + 4\text{OH}^-$	+0,60
$\text{Au}^{3+} + 2e \rightleftharpoons \text{Au}^+$	+1,41	$\text{MnO}_2 + 4\text{H}^+ + 2e \rightleftharpoons \text{Mn}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	+1,23
$\text{Au}^{3+} + 3e \rightleftharpoons \text{Au}\downarrow$	+1,50	$[\text{Mo}(\text{CN})_6]^{3-} + e \rightleftharpoons [\text{Mo}(\text{CN})_6]^{4-}$	+0,73
$\text{Al}^{3+} + 3e \rightleftharpoons \text{Al}$	-1,66	$\text{N}_2 + 8\text{H}^+ + 6e \rightleftharpoons 2\text{NH}_4^+$	+0,26
$\text{Ba}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Ba}$	-2,91	$\text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{O} + e \rightleftharpoons \text{NO}_2^- + 2\text{OH}^-$	+0,10
$\text{Br}_2 + 2e \rightleftharpoons 2\text{Br}^-$	+1,09	$\text{NO}_3^- + 3\text{H}^+ + 2e \rightleftharpoons \text{HNO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	+0,94
$\text{HBrO} + \text{H}^+ + 2e \rightleftharpoons \text{Br}^- + \text{H}_2\text{O}$	+1,34	$\text{NO}_3^- + 2\text{H}^+ + e \rightleftharpoons \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	+0,80
$\text{BrO}_3^- + 5\text{H}^+ + 4e \rightleftharpoons \text{HBrO} + 2\text{H}_2\text{O}$	+1,45	$\text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{O} + e \rightleftharpoons \text{NO}_2 + 2\text{OH}^-$	-0,86
$\text{Cl}_2 + 2e \rightleftharpoons 2\text{Cl}^-$	+1,36	$\text{NO}_3^- + 4\text{H}^+ + 3e \rightleftharpoons \text{NO} + 2\text{H}_2\text{O}$	+0,96
$\text{Co}^{3+} + e \rightleftharpoons \text{Co}^{2+}$	+1,81	$\text{NO}_3^- + 2\text{H}_2\text{O} + 3e \rightleftharpoons \text{NO} + 4\text{OH}^-$	-0,14
$\text{Co}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Co}\downarrow$	-0,29	$\text{HNO}_2 + \text{H}^+ + e \rightleftharpoons \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$	+1,00
$\text{Co}^{3+} + 3e \rightleftharpoons \text{Co}\downarrow$	+0,46	$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4e \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}$	+1,23
$[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+} + e \rightleftharpoons [\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$	+0,1	$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4e \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O} (\text{pH}=7)$	+0,82

Полуреакция	$\phi^\circ, \text{В}$	Полуреакция	$\phi^\circ, \text{В}$
$\text{Cr}^{3+} + e \rightleftharpoons \text{Cr}^{2+}$	-0,41	$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4e \rightleftharpoons 4\text{OH}^-$	+0,40
$\text{Cr}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Cr}$	-0,91	$\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2e \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}_2$	+0,68
$\text{Cr}^{3+} + 3e \rightleftharpoons \text{Cr}$	-0,74	$\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2e \rightleftharpoons \text{HO}_2^- + \text{OH}^-$	-0,08
$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ + 6e \rightleftharpoons 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$	+1,33	$\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2e \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}$	+1,77
$[\text{Cr}(\text{CN})_6]^{3-} + e \rightleftharpoons [\text{Cr}(\text{CN})_6]^{4-}$	-1,28	$\text{HO}_2^- + \text{H}_2\text{O} + 2e \rightleftharpoons 3\text{OH}^-$	+0,88
$\text{Cu}^+ + e \rightleftharpoons \text{Cu}\downarrow$	+0,53	$\text{O}_3 + 2\text{H}^+ + 2e \rightleftharpoons \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$	+2,07
$\text{Cu}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Cu}\downarrow$	+0,35	$\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O} + 2e \rightleftharpoons \text{O}_2 + 2\text{OH}^-$	+1,24
$\text{Cu}^{2+} + e \rightleftharpoons \text{Cu}^+$	+0,16	$\text{S} + 2\text{H}^+ + 2e \rightleftharpoons \text{H}_2\text{S}$	+0,17
$\text{Cu}^{2+} + \text{I}^- + e \rightleftharpoons \text{CuI}$	+0,86	$\text{S} + 2e \rightleftharpoons \text{S}^{2-}$	-0,48
$\text{F}_2 + 2e \rightleftharpoons 2\text{F}^-$	+2,77	$\text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + 2e \rightleftharpoons \text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	+0,20
$\text{Fe}^{3+} + e \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+}$	+0,77	$\text{SO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O} + 2e \rightleftharpoons \text{SO}_3^{2-} + 2\text{OH}^-$	-0,93
$\text{Fe}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Fe}$	-0,44	$\text{S}_4\text{O}_6^{2-} + 2e \rightleftharpoons 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$	+0,08
$[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-} + e \rightleftharpoons [\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$	+0,36	$\text{Sn}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Sn}\downarrow$	-0,14
$2\text{H}^+ + 2e \rightleftharpoons \text{H}_2$	0,00	$\text{Sn}^{4+} + 2e \rightleftharpoons \text{Sn}^{2+}$	+0,15
$2\text{H}^+ + 2e \rightleftharpoons \text{H}_2 (\text{pH} = 7)$	-0,414	$\text{Tl}^+ + e \rightleftharpoons \text{Tl}\downarrow$	-0,36
$2\text{Hg}_2^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Hg}_2^{2+}$	+0,91	$\text{Tl}^{3+} + 2e \rightleftharpoons \text{Tl}^+$	+1,25
$\text{Hg}_2^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Hg}\downarrow$	+0,85		
$\text{Hg}_2^{2+} + 2e \rightleftharpoons 2\text{Hg}$	+0,80		

Полуреакция	$\varphi^{\circ}, \text{В}$	Полуреакция	$\varphi^{\circ}, \text{В}$
$\text{I}_2 + 2e \rightleftharpoons 2\text{I}^-$	+0,54	$\text{Zn}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Zn}\downarrow$	-0,76
$\text{IO}_3^- + 5\text{H}^+ + 4e \rightleftharpoons$ $\text{HIO} + 2\text{H}_2\text{O}$	+1,14	$[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+} + 2e \rightleftharpoons$ $\text{Zn}\downarrow + 4\text{NH}_3$	-1,04
$\text{HIO} + \text{H}^+ + 2e \rightleftharpoons \text{I}^-$ + $\text{H}_2\text{O}$	+0,99	$\text{ZnS} + 2e \rightleftharpoons$ $\text{Zn} + \text{S}^{2-}$	-1,41
$\text{Cd}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Cd}$	-0,403	$\text{CH}_3\text{COH} + 2\text{H}^+ + 2e$ $\rightleftharpoons \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	+0,19
$\text{Mn}^{3+} + e \rightleftharpoons \text{Mn}^{2+}$	+1,51		

## 20. Формальные (мид-пойнт) потенциалы биологических окислительно-восстановительных пар (25 °С, pH = 7)

Окислительно-восстановительная пара	$\varphi^{\circ}, \text{В}$	Окислительно-восстановительная пара	$\varphi^{\circ}, \text{В}$
$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ / 2\text{H}_2\text{O}$	+0,82	Метиленовый синий + $2\text{H}^+$ / лейкометиленовый синий	+0,01
Цитохром $a_3\text{Fe}^{3+} / \text{Fe}^{2+}$	+0,55	$\text{ФП}_1 / \text{ФП}_1\text{H}_2$	-0,06
Гемоцианин $\text{Cu}^{2+} / \text{Cu}^+$	+0,54	Оксалоацетат $^{2-} + 2\text{H}^+$ / Малат $^{2-}$	-0,17
$\text{NO}_3^- + 3\text{H}^+ / \text{HNO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	+0,42	Пируват $^- + 2\text{H}^+$ / Лактат $^{2-}$	-0,19
Цитохром $f \text{Fe}^{3+} / \text{Fe}^{2+}$	+0,37	Ацетальдегид + $2\text{H}^+$ / Этанол	-0,20
Цитохром $a \text{Fe}^{3+} / \text{Fe}^{2+}$	+0,29	$\text{ФАД} + 2\text{H}^+ / \text{ФАД-H}_2$	-0,22
Цитохром $c \text{Fe}^{3+} / \text{Fe}^{2+}$	+0,254	Липоевая кислота + $2\text{H}^+$ / Дигидролипоевая кислота	-0,29
Цитохром $c_1 \text{Fe}^{3+} / \text{Fe}^{2+}$	+0,21	$\text{IAD}^+ + 2\text{H}^+ / \text{НАД-H} + \text{H}^+$	-0,32
Цитохром $b \text{Fe}^{3+} / \text{Fe}^{2+}$	+0,075	$\text{НАДФ}^+ + \text{H}^+ / \text{НАДФ-H}$	-
Метгемоглобин / Гемоглобин $\text{Fe}^{3+} / \text{Fe}^{2+}$	+0,17	$\text{CO}_2 + 2\text{H}^+ / \text{НСOO}^-$	0,324
Миоглобин $\text{Fe}^{3+} / \text{Fe}^{2+}$	+0,04	$2\text{H}^+ / \text{H}_2$	-0,42

Окислительно-восстановительная пара	$\varphi^{\circ}$ , В	Окислительно-восстановительная пара	$\varphi^{\circ}$ , В
Фумарат <sup>2-</sup> + 2H <sup>+</sup> / сукцинат <sup>2-</sup>	+0,03	Ферредоксин Fe <sup>3+</sup> / Fe <sup>2+</sup>	-0,43
Дегидроаскорбиновая кислота + 2H <sup>+</sup> / Аскорбиновая кислота	+0,058	Ацетат <sup>-</sup> + CO <sub>2</sub> + 2H <sup>+</sup> / Пируват <sup>-</sup>	-0,70
Убихинон + 2H <sup>+</sup> / Убихинон-Н <sub>2</sub>	+0,10		

## 21. Потенциалы электродов сравнения

Электрод	с(КCl), моль/л	Потенциалы (В) при различных температурах (°С)				
		18	20	25	30	37
Кало-мельный	0,1	0,337	0,337	0,337	0,336	0,336
	1,0	0,285	0,284	0,283	0,282	0,280
	насыщ.	0,248	0,447	0,244	0,241	0,236
Хлорсеребряный	0,1	—	0,290	0,290	—	—
	1,0	—	0,237	0,238	—	—
	насыщ.	0,199	0,200	0,201	0,202	0,204

## 22. Удельная электрическая проводимость биологических тканей и жидкостей организма при 37 °С

Биосубстрат	κ, См/м	Биосубстрат	κ, См/м
Цельная кровь	0,54	Мышечная ткань	0,66
Плазма крови	1,47-1,6	Нервная ткань	0,04
Желудочный сок	1,0-1,25	Жировая ткань	0,02
Спинномозговая жидкость	1,8	Сухая кожа	0,0003
Моча	1,6-2,3	Костная ткань	0,0000005

### 23. Удельная электрическая проводимость ( $\kappa$ , $\text{См} \cdot \text{м}^{-1}$ ) водных растворов KCl

Температура, °C	$\kappa$		
	$c(\text{KCl}), \text{моль/л}$		
	0,1	0,02	0,01
15	1,048	0,2243	0,1147
16	1,072	0,2294	0,1173
17	1,095	0,2345	0,1199
18	1,119	0,2397	0,1225
19	1,143	0,2449	0,1251
20	1,167	0,2501	0,1278
21	1,191	0,2553	0,1305
22	1,215	0,2606	0,1332
23	1,239	0,2659	0,1359
24	1,264	0,2712	0,1386
25	1,288	0,2765	0,1417

### 24. Предельная молярная электрическая проводимость ионов ( $\Lambda_{\infty}$ , $\text{См} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$ )

Ион	$\Lambda_{\infty} \cdot 10^4$		Ион	$\Lambda_{\infty} \cdot 10^4$	
	291 К	298 К		291 К	298 К
$\text{H}^+$	315,0	349,8	$\text{OH}^-$	171,0	198,3
$\text{Na}^+$	42,8	50,1	$\text{Cl}^-$	66,0	76,35
$\text{K}^+$	63,9	73,5	$\text{NO}_3^-$	62,3	71,46
$\text{NH}_4^+$	63,9	73,5	$\text{HCOO}^-$	47,0	54,6
$\text{Ag}^+$	53,5	61,9	$\text{CH}_3\text{COO}^-$	34,0	40,9
$1/2\text{Mg}^{2+}$	44,9	53,0	$\text{C}_2\text{H}_3\text{COO}^-$	—	35,8
$1/2\text{Ca}^{2+}$	—	60,0	$\text{C}_3\text{H}_7\text{COO}^-$	—	32,6
$1/2\text{Ba}^{2+}$	54,6	63,6	$1/2\text{CO}_3^{2-}$	60,5	69,3
$1/2\text{Pb}^{2+}$	60,5	70,0	$1/2\text{SO}_3^{2-}$	68,4	80,0

## 25. Поверхностное натяжение жидкостей при 293 К

Вещество	$\sigma \cdot 10^3$ , Н/м	Вещество	$\sigma \cdot 10^3$ , Н/м
Ацетон	23,70	Муравьиная кислота	37,58
Бензол	28,88	Уксусная кислота	27,80
Вода	72,75	Пентан	16,00
Гексен	18,42	Пиридин	38,00
Глицерин	59,40	Этиленгликоль	46,1
Диэтиловый эфир	17,00	Этанол	22,03
Метанол	22,61		

## 26. Поверхностное натяжение воды при различных температурах

$t$ , °С	$\sigma \cdot 10^3$ , Н/м	$t$ , °С	$\sigma \cdot 10^3$ , Н/м	$t$ , °С	$\sigma \cdot 10^3$ , Н/м
10	77,22	17	73,19	24	72,13
11	74,07	18	73,05	25	71,97
12	73,93	19	72,90	26	71,82
13	73,78	20	72,75	27	71,66
14	73,64	21	72,59	28	71,50
15	73,49	22	72,44	29	71,35
16	73,34	23	72,28	30	71,18

## 27. Защитное действие

Высокомолекулярное вещество	Золотое число, мг	Рубиновое число, мг	Железное число, мг
Желатин	0,008	2,50	5,00
Гемоглобин	0,25	0,80	-
Яичный альбумин	2,50	2,00	15,00
Крахмал	25,00	20,00	20,00

## 28. Изoeлектрические точки некоторых белков

Белок	ИЭТ (pI)
Пепсин желудочного сока	2,00
Казеин молока	4,60
Альбумин сыворотки крови	4,64
Яичный альбумин	4,71
$\alpha$ -глобулин крови	4,80
Миозин мышц	5,00
Фибриноген крови	5,40
$\gamma$ -глобулин крови	6,40
Гемоглобин	6,68
Оксигемоглобин	6,87
Химотрипсин сока поджелудочной железы	8,60
Цитохром С	10,70

## 29. Некоторые референтные величины лабораторных показателей крови взрослого человека

Лабораторный показатель	Референтные величины
Азот: свободных аминокислот остаточный	2,6–5 ммоль/л (36–70 мг/л) 14–28 ммоль/л
Аммиак	11–32 мкмоль/л (15–45 мкг/дл)
Гемоглобин (цельная кровь)	120–160 г/л
Глюкоза (плазма/сыворотка)	3,3–6,1 ммоль/л
Мочевина (сыворотка крови)	2,5–8,3 ммоль/л
Мочевая кислота Мужчины	0,26–0,45 ммоль/л
Женщины	0,14–0,39 ммоль/л
Холестерин общий	3,0–5,2 ммоль/л

Лабораторный показатель	Референтные величины
Железо (сыворотка крови)	
Мужчины	11,6–31,3 мкмоль/л
Женщины	9–30,4 мкмоль/л
Цинк	10,7–18,4 мкмоль/л
Йод	46–70 мкг/л
Калий (сыворотка крови)	3,5–5 ммоль/л
Натрий (сыворотка крови)	135–150 ммоль/л
Кальций	
Общий	2,15–2,5 ммоль/л (8,6-10 мг%)
Ионизированный	1,15–1,27 ммоль/л
Магний	0,7–1,1 ммоль/л
Фосфор	0,65–1,29 ммоль/л
неорганический	
Хлорид-ионы	95–110 ммоль/л

### 30. Предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в воздухе населенных пунктов, мг/м<sup>3</sup>

Загрязняющее вещество	ПДК <sub>м.р.</sub>	ПДК <sub>с.с.</sub>
Азота диоксид	0,085	0,04
Аммиак	0,2	0,04
Ацетон	0,35	0,35
Бенз(а)пирен	–	0,00001
Бензол	1,5	0,1
Взвешенные вещества (пыль)	0,5	0,15
Водород хлористый	0,2	0,2
Кадмий	–	0,001
Марганец и его соединения	0,01	0,0001
Медь	–	0,002
Никель металлический	–	0,001
Озон	0,16	0,03
Пыль цементная	0,3	0,1
Ртуть металлическая	–	0,0003
Сажа	0,15	0,01

Загрязняющее вещество	ПДК <sub>м.р.</sub>	ПДК <sub>с.с.</sub>
Свинец и его соединения	—	0,0003
Сероуглерод	0,03	0,005
Серы диоксид	0,5	0,05
Углерода диоксид	5,0	3,0
Фенол	0,01	0,003
Формальдегид	0,035	0,003
Фтористый водород	0,02	0,005
Хлор	0,1	0,03

### 31. Предельно допустимые концентрации вредных веществ в питьевых водах, мг/л

Вещество	ПДК	Вещество	ПДК
По санитарно-токсикологическому показателю			
Анилин	0,1	Метан	3,0
Бензол	0,5	Нитраты (по азоту)	10,0
Свинец (Pb <sup>2+</sup> )	0,1	Ртуть	0,005
Стронций	2,0	Динитротолуол	0,5
Тетраэтилсвинец	Отсутствие	Формальдегид	0,05
Хлорбензол	0,02	Полиакриламид	2,0
По общесанитарному показателю			
Аммиак (по азоту)	2,0	Метилпирролидон	0,5
Бутилацетат	0,1	Стрептоцид	0,5
Дибутилфталат	0,2	Тринитротолуол	0,5
Капролактам	1,0		
По органолептическому показателю			
Бензин	0,1	Диметилфенол	0,25
Бутилбензон	0,1	Динитробензол	0,5
Бутиловый спирт	1,0	Динитрохлорбензол	0,5
Гексахлоран	0,02	Дихлорметан	7,5

**Стандартные электродные потенциалы металлов в водных растворах при 298 К  
(ряд напряжений металлов)**

↑  
Возрастает восстановительная способность атомов металлов

M	$\phi$	$M^{2+}$	$-2e$
Li	-3,50	$Li^+$	$+2e$
K	-2,92	$K^+$	
Ca	-2,87	$Ca^{2+}$	
Na	-2,71	$Na^+$	
Mg	-2,36	$Mg^{2+}$	
Al	-1,66	$Al^{3+}$	
Mn	-1,18	$Mn^{2+}$	
Zn	-0,76	$Zn^{2+}$	
Cr	-0,71	$Cr^{3+}$	
Fe	-0,44	$Fe^{2+}$	
Cd	-0,40	$Cd^{2+}$	
Ni	-0,25	$Ni^{2+}$	
Sn	-0,14	$Sn^{2+}$	
Pb	-0,13	$Pb^{2+}$	
$1/2H_2$	0,00	$H^+$	
Cu	0,34	$Cu^{2+}$	
Ag	0,80	$Ag^+$	
Hg	0,85	$Hg^{2+}$	
Pt	1,20	$Pt^{3+}$	
Au	1,75	$Au^+$	
M	$\phi$	$M^{2+}$	$-2e$

↑  
Возрастает восстановительная способность катионов металлов

## Правила оформления результатов в химии

Результаты расчетов, экспериментальные данные принято выражать **только** значащими цифрами.

Значащие цифры — все достоверно известные цифры плюс первая из недостоверных.

Из определения следует, что все результаты надо округлять до первой недостоверной цифры.

Для оценки достоверности в таких случаях используют методы математической статистики, применяя в качестве критериев стандартные отклонения, размах варьирования, доверительный интервал. Если эти сведения отсутствуют, недостоверность принимают равной  $\pm 1$  в последней значащей цифре.

Округление конечного результата нужно проводить после выполнения всех арифметических действий.

Если за первой недостоверной цифрой следует цифра 5, то округляют до ближайшего четного числа. *Например*, число 17,465 следует округлить до 17,46, если цифра 6 недостоверна.

В отличие от других цифр, ноль может быть значим и незначим. Нули, стоящие в начале числа, всегда незначимы и служат только для указания места запятой в десятичной дроби. Нули, стоящие между цифрами, всегда значимы. Нули, стоящие в конце числа, могут быть значимы и незначимы. Нули, стоящие после запятой в десятичной дроби, считаются значимыми. Нули же, стоящие в конце целого числа, могут означать значащую цифру, а могут указывать только порядок числа.

В числах: 200,0 — четыре значащих цифры; 0,0987 — три; 0,0029 — две; 0,7087 — четыре значащих цифры, а в числе 300 значащих цифр может быть одна (цифра 3), две (цифры 3 и 0), три (цифры 3, 0 и 0). Чтобы избежать неопределенности, число 300 необходимо представить в стандартном виде — как произведение числа, содержащего только значащие цифры, и  $10^n$ . Если в числе 300 одна значащая цифра, то следует записать так:  $3 \cdot 10^2$ , если две значащие цифры —  $3,00 \cdot 10^2$ .

При сложении и вычитании значимость суммы или разности определяется значимостью числа, у которого меньше десятичных знаков. *Например*, при сложении чисел 20,2; 3 и 0,47 значимость определяется недостоверностью числа 3, следовательно, сумму чисел  $20,3 + 3 + 0,47 = 23,67$  необходимо округлить до 24.

Числа, содержащие степени, преобразуют, приводя показатели степеней слагаемых к наибольшему. *Например*, при сложении чисел  $4 \cdot 10^{-5}$ ,  $3,00 \cdot 10^{-2}$  и  $1,5 \cdot 10^{-4}$  их следует записать:  $0,004 \cdot 10^{-2}$ ,  $3,00 \cdot 10^{-2}$  и  $0,015 \cdot 10^{-2}$ . Сумму этих чисел  $0,004 \cdot 10^{-2} + 3,00 \cdot 10^{-2} + 0,015 \cdot 10^{-2} = 3,019 \cdot 10^{-2}$  записывают —  $3,02 \cdot 10^{-2}$ , поскольку значимость суммы определяется значимостью числа  $3,02 \cdot 10^{-2}$ , имеющего наименьшее число десятичных знаков.

При умножении и делении значимость произведения или частного определяет сомножитель с наименьшим числом значащих цифр. *Например*, при перемножении чисел 1,5 и 2,35 произведение должно содержать две значащие цифры, то есть 3,5 ( $1,5 \cdot 2,35$ ), а не 3,525, как получается при перемножении.

При возведении числа в степень относительная недостоверность результата увеличивается в число раз, равных степени. При возведении в квадрат она удваивается.

*Необходимо помнить:*

- 1) если стоящая следом за округляемой цифра больше 5, то округляемая цифра увеличивается на единицу (1,76 округляем до 1,8);
- 2) если стоящая следом за округляемой цифра меньше 5, то округляемая цифра не изменяется (272,334 округляется до 272,33);
- 3) если стоящая следом за округляемой цифра равна 5, то нечетную цифру повышают на единицу (3,75 округляют до 3,8), а четную — оставляют без изменения (6,45 округляют до 6,4).

## Литература, рекомендованная студентам

### Основная:

1. Общая химия. Биофизическая химия. Химия биогенных элементов: учебник для бакалавров/ В.А.Попков [и др.]: под ред. Ю.А.Ершова. — М.: Изд-во «Юрайт», 2011. — 560 с.
2. Пузаков С.А. Сборник задач и упражнений по общей химии / С.А. Пузаков, В.А. Попков, А.А. Филиппова. — М.: Высшая школа, 2008. — 255 с.

### Дополнительная:

1. Жолнин А.В. Общая химия: учебник / А.В. Жолнин; под ред. В.А.Попкова, А.В. Жолнина. — М.: ГЭОТАР-Медиа, 2012. — 400 с.
2. Ленский А.С. Биофизическая и бионеорганическая химия: учебник для студентов мед. вузов / А.С. Ленский, И.Ю. Белавин, С.Ю. Быликин. — М.: Изд-во «Мед. информ. агентство», 2008. — 416 с.
3. Попков В.А. Общая химия: учебник / В.А. Попков, С.А. Пузаков. — М.: ГЭОТАР-Медиа, 2009. — 976 с.
4. Слесарев В.И. Химия: основы химии живого: учебник для вузов. — СПб.: Химиздат, 2009. — 784 с.

### Электронные ресурсы:

1. <http://www.alhimik.ru>
2. <http://www.informika.ru/text/database/chemy/START.html>
3. <http://www.hij.ru>
4. <http://chemistry.narod.ru>
5. <http://www.chem.msu.su/>
6. <http://www.ChemPort.ru>

## Список использованной литературы

1. Алексеев В.В. Химия. Практикум для подготовки к занятиям по дисциплине «Химия»: учебное пособие для слушателей, курсантов и студентов I курса Военно-медицинской академии/В.В. Алексеев [и др.]. — СПб.: ВМА, 2012. — 119 с.
2. Дикерсон Р. Основные законы химии / Р. Дикерсон, Г. Грей, Дж. Хейт: в 2 т.; пер. с англ. — М.: Мир, 1982. — 652 с., 620 с.
3. Жолнин А.В. Общая химия: учебник/А.В. Жолнин; под ред. В.А.Попкова, А.В. Жолнина. — М.: ГЭОТАР-Медиа, 2012. — 400 с.
4. Задачи и упражнения по общей химии: учеб. пособие / Б.И. Адамсон, О.Н. Гончарук, В.Н. Камышова и др.; под ред. Н.В. Коровина. — М.: Высш. шк., 2003. — 255 с.

5. *Зимон А.Д.* Коллоидная химия: учебник для вузов / А.Д. Зимон, Н.Ф. Лещенко. — М.: АГАР, 2003. — 320 с.
6. Краткий справочник физико-химических величин / под ред. А.А. Равделя и А.М. Пономаревой. — СПб.: Специальная литература, 1999. — 232 с.
7. Лабораторные работы и задачи по коллоидной химии / под ред. Ю.Г. Фролова и А.С. Гродского. — М.: «Химия», 1986. — 216 с.
8. *Ленский А.С.* Биофизическая и бионеорганическая химия: учебник для студентов мед. вузов / А.С. Ленский, И.Ю. Белавин, С.Ю. Быбликин. — М.: Изд-во «Мед. информ. агентство», 2008. — 416 с.
9. *Литвинова Т.Н.* Сборник задач по общей химии (Задачи с медико-биологической направленностью). — М.: ООО «Изд-во “Оникс”»; ООО «Изд-во “Мир и образование”», 2007. — 224 с.
10. Общая химия. Биофизическая химия. Химия биогенных элементов: учебник для бакалавров / В.А. Попков [и др.]: под ред. Ю.А. Ершова. — М.: Изд-во «Юрайт», 2011. — 560 с.
11. Основы биофизической и коллоидной химии: учеб. пособие / Е.В. Барковский [и др.]. — Минск: Выш. шк., 2009. — 413.
12. Основы количественных расчетов в химии: сборник задач и упражнений по общей химии / сост. Н.Н. Беляев, И.И. Барсуков, Э.А. Беззубец, Е.К. Дьяченко, Л.И. Иозеп, Н.Д. Рожкова, Н.Г. Тихомирова. — СПб.: Изд-во СПХФА, 2005. — 140 с.
13. *Попков В.А.* Общая химия: учебник / В.А. Попков, С.А. Пузаков. — М.: ГЭОТАР-Медиа, 2009. — 976 с.
14. *Пузаков С.А.* Сборник задач и упражнений по общей химии / С.А. Пузаков, В.А. Попков, А.А. Филиппов. — М.: Высшая школа, 2008. — 255 с.
15. *Слесарев В.И.* Химия: основы химии живого: учебник для вузов. — СПб.: Химиздат, 2009. — 784 с.
16. *Уильямс В.* Физическая химия для биологов / В. Уильямс, Х. Уильямс. — М.: Мир, 1976. — 600 с.
17. *Чанг Р.* Физическая химия с приложением к биологическим системам. — М.: Мир, 1980. — 662 с.



## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	3
Модуль «ОСНОВЫ КОЛИЧЕСТВЕННОГО АНАЛИЗА» .....	5
Модуль «ОСНОВЫ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕРМОДИНАМИКИ И ХИМИЧЕСКОЙ КИНЕТИКИ. ХИМИЧЕСКОЕ РАВНОВЕСИЕ» .....	68
Модуль «УЧЕНИЕ О РАСТВОРАХ. ПРОТОЛИТИЧЕСКИЕ, ГЕТЕРОГЕННЫЕ, ЛИГАНДОБМЕННЫЕ, ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ И РАВНОВЕСИЯ» .....	110
Модуль «ПОВЕРХНОСТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ. ДИСПЕРСНЫЕ СИСТЕМЫ. РАСТВОРЫ ВМС» .....	235
Приложения .....	283
Литература, рекомендованная студентам .....	316
Список использованной литературы .....	316



*Издательство*  
**ЕНИКС**

344082, г. Ростов-на-Дону,  
пер. Халтуринский, 80  
Тел.: (863) 261-89-50;  
[www.phoenixrostov.ru](http://www.phoenixrostov.ru)

- ◆ Около 100 новых книг каждый месяц.
- ◆ Более 6000 наименований книжной продукции собственного производства.

#### ОСУЩЕСТВЛЯЕМ:

- ◆ Оптовую и розничную торговлю книжной продукцией.

#### ГАРАНТИРУЕМ:

- ◆ Своевременную доставку книг в любую точку страны, ЗА СЧЕТ ИЗДАТЕЛЬСТВА, автотранспортом и ж/д контейнерами.
- ◆ МНОГОУРОВНЕВУЮ систему скидок.
- ◆ РЕАЛЬНЫЕ ЦЕНЫ.
- ◆ Надежный ДОХОД от реализации книг нашего издательства.

### **ТОРГОВЫЙ ОТДЕЛ**

344082, г. Ростов-на-Дону, пер. Халтуринский, 80

#### **Контактные телефоны:**

(863) 261-89-53, 261-89-54, 261-89-55  
261-89-56, 261-89-57, факс. 261-89-58

#### **Начальник торгового отдела**

*Аникина Елена Николаевна*

Тел.: (863) 261-89-53, [torg153@aanet.ru](mailto:torg153@aanet.ru)

Учебное издание

Литвинова Т.Н.

**ОБЩАЯ ХИМИЯ:  
ЗАДАЧИ С МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКОЙ  
НАПРАВЛЕННОСТЬЮ**

Ответственный  
за выпуск  
Выпускающий  
редактор  
Верстка:

*Боровиков А.*

*Логвинова Г.*

*Патулова А.*

Сдано в набор 14.11.2013. Подписано в печать 17.02.2014.

Формат 84 x 108  $\frac{1}{32}$ . Бумага офсетная.

Тираж 2 500 экз. Заказ №

ООО «Феникс»

344082, г. Ростов-на-Дону, пер. Халтуринский, 80.

Тел. (863) 261-89-59, тел./факс 261-89-50

Сайт издательства: [www.phoenixrostov.ru](http://www.phoenixrostov.ru)

Интернет-магазин: [www.phoenixbooks.ru](http://www.phoenixbooks.ru)