

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ  
И КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ  
ПО ФИЗИЧЕСКОЙ И КОЛЛОИДНОЙ ХИМИИ**

**Часть 2**

Учебно-методическое пособие для вузов

Составители:  
В.Ю. Кондрашин,  
О.В. Долгих

Издательско-полиграфический центр  
Воронежского государственного университета  
2009

Утверждено научно-методическим советом фармацевтического факультета  
16 апреля 2009 г., протокол № 1500-08-04

Рецензент зав. кафедрой общей и неорганической химии, доктор химических наук, профессор Е.Г. Гончаров

Учебно-методическое пособие подготовлено на кафедре физической химии  
Воронежского государственного университета.

Рекомендуется для студентов 3 курса заочного отделения фармацевтического факультета.

Для специальности 060108 – Фармация

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебным планом заочного отделения фармацевтического факультета ВГУ (специальность 060108 – Фармация) изучение курса «Физическая и коллоидная химия» предусмотрено в течение двух семестров – четвертого и пятого. Освоение дисциплины предполагает слушание лекций, прохождение лабораторного практикума и выполнение четырех контрольных работ: двух в четвертом и двух в пятом семестре. Обучение в четвертом семестре завершается сдачей зачета, а в пятом – сдачей экзамена.

Настоящее методическое пособие предоставляет студенту заочной формы обучения программу второй части курса, задачи к контрольной работе № 3, задачи к контрольной работе № 4, список рекомендуемой учебной литературы, ответы к задачам, а также ряд организационных рекомендаций. Приведены также основные уравнения, требующиеся для выполнения контрольной работы, включено несколько примеров решения задач на разные темы.

Контрольную работу выполняйте в обычной тетради (18 листов). На ее обложке или на приклеенной к обложке этикетке разборчиво напишите свою фамилию, имя и отчество (в именительном падеже), курс и номер группы; далее укажите номер контрольной работы, название учебной дисциплины, номер зачетной книжки и номер варианта.

<b>Образец</b>
<b>Снегирева Ольга Александровна</b> <b>3 курс, 1 группа з/о фармацевтического ф-та ВГУ</b> <b>Контрольная работа № 3</b> <b>по «Физической и коллоидной химии»</b> <b>№ зачетной книжки .....</b> <b>Вариант.....</b>

Контрольная работа № 3 должна быть отправлена по почте (простым письмом) или доставлена лично в деканат фармацевтического факультета ВГУ *не позднее 1 ноября*. Срок представления контрольной работы № 4 – *не позднее 15 декабря*.

Адрес: *394000, г. Воронеж, ул. Студенческая, 3.*  
*Деканат фармацевтического факультета ВГУ.*

На конверте сделайте пометку «Контрольная работа студента з/о. – Физколлоидная химия».

## КАКОЙ ВАРИАНТ ЗАДАНИЙ ПРЕДНАЗНАЧЕН ДЛЯ ВАС

Номер Вашего варианта контрольной работы № 3 и контрольной работы № 4 определяется последней цифрой номера Вашей зачетной книжки. Например, если эта цифра 7, Ваша контрольная работа № 3 будет состоять из задач 3-7, 3-18, 3-29, 3-40, 3-41, 3-55, 3-64, 3-73, 3-82, 3-91 и 3-104. В контрольную работу № 4, помимо задач 4-7, 4-18 и т. д., еще добавляется задача 4-117. **Вы обязаны решать задачи только Вашего варианта. Решения задач, относящихся к другим вариантам, при проверке рассматриваться не будут!**

Вариант	№№ задач для решения											
<b>1</b>	1	12	23	34	45	59	68	77	86	95	106	111
<b>2</b>	2	13	24	35	46	60	69	78	87	96	107	112
<b>3</b>	3	14	25	36	47	51	70	79	88	97	108	113
<b>4</b>	4	15	26	37	48	52	61	80	89	98	109	114
<b>5</b>	5	16	27	38	49	53	62	71	90	99	110	115
<b>6</b>	6	17	28	39	50	54	63	72	81	100	105	116
<b>7</b>	7	18	29	40	41	55	64	73	82	91	104	117
<b>8</b>	8	19	30	31	42	56	65	74	83	92	103	118
<b>9</b>	9	20	21	32	43	57	66	75	84	93	102	119
<b>0</b>	10	11	22	33	44	58	67	76	85	94	101	120

**ПРОГРАММА КУРСА**  
**«Физическая и коллоидная химия. Часть 2»**  
**для студентов заочного отделения**  
**фармацевтического факультета ВГУ**

Вторая часть курса «Физическая и коллоидная химия» включает в себя два раздела:

Раздел 3. Электрохимия.

Раздел 4. Поверхностные явления. Коллоидная химия.

*Учебный план фармацевтического факультета предусматривает по программе второй части курса выполнение двух контрольных работ. Форма промежуточного контроля – ЗАЧЕТ. Обучение по «Физической и коллоидной химии» завершается ЭКЗАМЕНОМ.*

### **Раздел 3. ЭЛЕКТРОХИМИЯ**

Электролиты. Теория электролитической диссоциации Аррениуса. Гидратация ионов. Протонная теория кислот и оснований Бренстеда – Лоури. Аминокислоты как кислоты по Бренстеду. Коллигативные свойства растворов электролитов. Активность и коэффициенты активности. Элементы теории Дебая – Хюккеля межионного взаимодействия. Ионная сила раствора. Зависимость коэффициентов активности от ионной силы раствора. Учет коэффициентов активности при расчете ионных равновесий.

Основные механизмы ионного транспорта. Миграция. Электропроводность: удельная, молярная, эквивалентная. Влияние концентрации на электропроводность. Закон Кольрауша. Электропроводность неводных растворов. Подвижность ионов и числа переноса. Кондуктометрия. Диффузия ионов. Движение ионов через мембрану. Биомембраны.

Граница раздела заряженных фаз. Двойной электрический слой. Электрохимический потенциал. Стандартный водородный электрод. Электродный потенциал. Стандартный электродный потенциал. Ряд напряжений. Электроды I и II рода. Мембранный потенциал. Ионселективные электроды. Стекланный электрод. Термодинамика обратимых электрохимических цепей. Концентрационные гальванические элементы. Потенциометрия. Метод ЭДС для определения термодинамических функций электрохимических цепей, произведения растворимости малорастворимой соли, рН раствора. Окислительно-восстановительное и ацидометрическое титрование. Применение окислительно-восстановительных электродов в биологии, медицине и фармации.

## **Раздел 4. ПОВЕРХНОСТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ. КОЛЛОИДНАЯ ХИМИЯ**

### **4.1. Поверхностные явления**

Поверхностное натяжение, поверхностная энергия Гиббса. Методы определения поверхностного натяжения, краевого угла смачивания. Адсорбция. Виды адсорбции. Поверхностно-активные вещества. Термодинамика адсорбции. Изотермы Гиббса и Лэнгмюра. Адсорбционные явления на границе твердое тело – жидкость, жидкость – жидкость и жидкость – газ. Уравнение Шишковского. Правило Дюкло – Траубе. Соадсорбция. Классификация ионитов. Ионообменная сорбция. Правило Панета – Фаянса. Полимолекулярная адсорбция, капиллярная конденсация. Абсорбция. Хемосорбция. Ионообменные методы разделения веществ. Адсорбционные стадии в биопроцессах. Хроматография. Применение хроматографии для получения и анализа лекарственных веществ. Гель-фильтрация. Атомно-абсорбционная спектроскопия.

### **4.2. Коллоидная химия**

Предмет, задачи и методы коллоидной химии. Значение коллоидной химии в развитии фармации.

Дисперсные системы. Дисперсная фаза, дисперсионная среда, степень дисперсности. Получение и очистка коллоидных растворов. Диспергирование. Физическая и химическая конденсация. Ультрафильтрация и ультрацентрифугирование. Диализ. Электродиализ.

Молекулярно-кинетические и оптические свойства коллоидных систем. Броуновское движение (уравнение Эйнштейна). Диффузия (уравнение Фика). Осмос. Рассеивание и поглощение света. Уравнение Рэлея. Опалесценция. Ультрамикроскопия и электронная микроскопия коллоидных систем. Определение формы, размеров и массы коллоидных частиц.

Седиментация. Седиментационная устойчивость и седиментационное равновесие.

Электрокинетические явления. Мицелла и ее строение. Строение двойного электрического слоя. Заряд и электрокинетический потенциал коллоидной частицы. Влияние электролитов на электрокинетический потенциал. Явление перезарядки коллоидных частиц. Электрофорез. Уравнение Гельмгольца – Смолуховского. Электрофоретическая подвижность. Электрофоретические методы исследования в фармации.

Электроосмос. Электроосмотическое измерение электрокинетического потенциала. Практическое применение электроосмоса в фармации.

Устойчивость, коагуляция и стабилизация коллоидов. Факторы устойчивости. Коагуляция и факторы, ее вызывающие. Медленная и быстрая коагуляция. Порог коагуляции. Правило Шульце – Гарди. Чередование зон коагуляции. Гелеобразование (желатинирование). Стабилизация коллоидных систем. Пептизация.

Растворы высокомолекулярных соединений (ВМС). Методы получения. Классификация ВМС. Кристаллическое и аморфное состояние ВМС. Набухание и растворение ВМС. Механизм набухания. Лиотропные ряды ионов. Вязкость растворов ВМС. Методы измерения вязкости ВМС. Удельная, приведенная и характеристичная вязкости. Определение массы полимера вискозиметрическим методом. Причины аномальной вязкости растворов полимеров. Осмотические свойства растворов ВМС. Полиэлектролиты. Факторы устойчивости растворов ВМС. Застудневание. Тиксотропия студней и гелей. Синерезис.

## **ЛИТЕРАТУРА ПО ВТОРОЙ ЧАСТИ КУРСА**

### **Основная (учебники)**

1. Евстратова К.И. Физическая и коллоидная химия : учеб. для вузов / К.И. Евстратова [и др.]. – М. : ГЭОТАР – Медиа, 2008. – 704 с.
2. Мушкамбаров Н.Н. Физическая и коллоидная химия : курс лекций / Н.Н. Мушкамбаров. – М. : ГЭОТАР – Медиа, 2001. – 384 с.
3. Ершов Ю.А. Общая химия. Биофизическая химия. Химия биогенных элементов : учеб. для вузов / Ю.А. Ершов [и др.]. – М. : Высш. шк., 2007. – 559 с.

### **Дополнительная (для углубленного изучения)**

1. Физическая химия. В 2-х кн. Кн. 2. Электрохимия. Химическая кинетика и катализ : учеб. для вузов / под ред. К.С. Краснова. – М. : Высш. шк., 2001. – 319 с.
2. Стромберг А.Г. Физическая химия : учеб. для вузов / А.Г. Стромберг, Д.П. Семченко. – М. : Высш. шк., 2006. – 527 с.
3. Гельфман М.И. Коллоидная химия : учеб. для вузов / М.И. Гельфман, О.В. Ковалевич, В.П. Юстратов. – СПб. : Лань, 2008. – 336 с.

### **Современные справочники (по всем разделам физической и коллоидной химии)**

1. Новый справочник химика и технолога. Химическое равновесие. Свойства растворов. – СПб. : Профессional, 2004. – 998 с.
2. Новый справочник химика и технолога. Электроидные процессы. Химическая кинетика и диффузия. Коллоидная химия. – СПб. : Профессional, 2004. – 838 с.
3. Справочник по электрохимии / Под ред. А.М. Сухотина. – Л. : Химия, 1981. – 488 с.

## Контрольная работа № 3

**Ионная сила раствора. Коэффициенты активности ионов.  
Электрическая проводимость растворов электролитов.  
Кондуктометрическое титрование. Кулонометрический анализ.  
Электрометрическое определение рН растворов**

### Основные формулы

1. Ионная сила раствора определяется как

$$I = \frac{1}{2} \sum_i m_i z_i^2,$$

где  $z_i$  – заряд иона (в единицах заряда протона),  $m_i$  – его моляльная концентрация.

2. Активность иона  $a_i$  выражается произведением моляльной концентрации иона  $m_i$  на его коэффициент активности  $\gamma_i$ :

$$a_i = \gamma_i \cdot m_i.$$

Определить экспериментально активность отдельного иона  $a_i$  (катиона  $a_+$  и аниона  $a_-$ ) невозможно. Поэтому вводится понятие средней ионной активности  $a_{\pm}$  и, соответственно, среднего ионного коэффициента активности  $\gamma_{\pm}$ .

Для электролита, образующего  $\nu_+$  катионов и  $\nu_-$  анионов,

$$a_{\pm} = (a_+^{\nu_+} \cdot a_-^{\nu_-})^{1/\nu} = \sqrt[\nu]{a_+^{\nu_+} \cdot a_-^{\nu_-}},$$

где  $\nu = \nu_+ + \nu_-$ . Аналогичным образом определяют

$$\gamma_{\pm} = (\gamma_+^{\nu_+} \cdot \gamma_-^{\nu_-})^{1/\nu} = \sqrt[\nu]{\gamma_+^{\nu_+} \cdot \gamma_-^{\nu_-}}.$$

Тогда средняя ионная активность будет равна

$$a_{\pm} = \gamma_{\pm} \cdot m_{\pm},$$

где  $m_{\pm}$  – средняя ионная моляльность, равная

$$m_{\pm} = m (\nu_+^{\nu_+} \cdot \nu_-^{\nu_-})^{1/\nu} = m \sqrt[\nu]{\nu_+^{\nu_+} \cdot \nu_-^{\nu_-}}.$$

Активность электролита (общая активность электролита) определяется как

$$a = (a_{\pm})^{\nu} = (\gamma_{\pm} m_{\pm})^{\nu}.$$

Заметим, что согласно закону ионной силы коэффициенты активности ионов  $\gamma_i$  зависят только от их заряда  $z_i$  и ионной силы раствора  $I$ .



3. Электрическая проводимость (электропроводность) – величина, обратная сопротивлению  $R_i$ :

$$K = \frac{1}{R}.$$

Она имеет размерность  $\text{Ом}^{-1}$ .

Для проводника постоянного сечения

$$K = \frac{1}{R} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{s}{l} = \kappa \frac{s}{l},$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление;  $s$  – площадь сечения проводника;  $l$  – длина проводника;  $\kappa$  – удельная электропроводность (величина, обратная удельному сопротивлению).

4. Удельной электропроводностью  $\kappa$  раствора называется электропроводность слоя раствора длиной 1 см, заключенного между электродами площадью 1  $\text{см}^2$ . Ее размерность –  $\text{Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ . В системе SI удельная электропроводность измеряется в  $\text{Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$ . (В задачах контрольной работы № 3 используется размерность  $\text{Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ ).

5. Эквивалентной электропроводностью  $\Lambda$  называется электропроводность такого объема раствора, в котором содержится 1 моль эквивалентов растворенного вещества, при условии, что электроды находятся на расстоянии 1 см друг от друга:

$$\Lambda = \frac{\kappa \cdot 1000}{c}.$$

Здесь  $c$  – эквивалентная концентрация (нормальность) раствора, выраженная в моль/л. Коэффициент 1000 обусловлен использованием в формуле единицы длины – см и единицы объема – л: 1 л = 1000  $\text{см}^3$ . Тогда размерность  $\Lambda$  будет выражена в  $\text{Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$ .

6. Эквивалентная электропроводность  $\Lambda$  растворов электролитов возрастает с разбавлением раствора и при бесконечном разбавлении ( $c \rightarrow 0$ ) приближается к предельному значению  $\Lambda^0$ , которое называется эквивалентной электропроводностью раствора при бесконечном разбавлении.

7. Согласно закону Кольрауша,  $\Lambda^0$  при бесконечном разбавлении раствора равна сумме предельных подвижностей катионов и анионов:

$$\Lambda^0 = \lambda_+^0 + \lambda_-^0.$$

Для определенной природы растворителя и постоянной температуры величины  $\lambda_+^0$  и  $\lambda_-^0$  являются физико-химическими константами, а их значения приводятся в справочниках.

8. В растворах слабых электролитов величины  $\Lambda$  и  $\Lambda^0$  связаны со степенью диссоциации  $\alpha$  электролита уравнением Аррениуса:

$$\frac{\Lambda}{\Lambda^0} = \alpha.$$

9. В растворах слабых электролитов процесс электролитической диссоциации подчиняется термодинамическому закону действующих масс. Применительно к диссоциации слабого электролита этот закон называется законом разбавления Оствальда. Для бинарного электролита КА, диссоциирующего по схеме



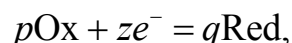
закон записывается следующим образом:

$$K = \frac{\alpha^2 c}{1 - \alpha},$$

где  $K$  – константа диссоциации слабого электролита,  $c$  – молярная концентрация электролита.

10. В водных растворах ионы  $H^+$  и  $OH^-$  имеют аномально высокую скорость движения, что вызывает аномально высокие подвижности  $\lambda(H^+)$  и  $\lambda(OH^-)$  (не только при бесконечном разбавлении растворов). На этом свойстве ионов основано кондуктометрическое титрование.

11. Масса  $m$  вещества, потребленного или образовавшегося на электроде (катоде или аноде) в процессе электролиза, вычисляется по закону Фарадея. Например, если на катоде протекает реакция



то масса превратившегося окислителя Ox будет вычисляться так:

$$m_{Ox} = \frac{pM_{Ox} \cdot It}{zF};$$

масса образовавшегося восстановителя Red:

$$m_{Red} = \frac{qM_{Red} \cdot It}{zF}.$$

Здесь  $p$ ,  $q$  и  $z$  – стехиометрические коэффициенты катодной реакции;  $M_{Ox}$  и  $M_{Red}$  – молярные массы Ox и Red;  $I$  – сила тока (А);  $t$  – время электролиза (с);  $F$  – постоянная Фарадея, равная 96 485 Кл/моль.

Аналогичным образом расчет  $m$  ведется для процесса анодного окисления.

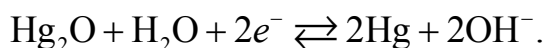
12. Электродвижущая сила (ЭДС) гальванического элемента равна разности потенциалов правого и левого электродов:

$$E = E_{\text{прав}} - E_{\text{лев}}$$

Если элемент составлен из исследуемого электрода и электрода сравнения, то исследуемый электрод принято помещать справа, а электрод сравнения – слева:  $E = E_{\text{иссл}} - E_{\text{сравн}}$ . В таком случае ЭДС элемента приобретает смысл электродного потенциала, измеренного относительно выбранного электрода сравнения. Как правило, электродные потенциалы измеряются относительно стандартного водородного электрода, потенциал которого принят равным нулю.

13. В качестве примера вычисления электродного потенциала по уравнению Нернста приведем расчет потенциала ртутно-оксидного электрода (электрод второго рода).

Запишем потенциалопределяющий процесс в катодном направлении:



Уравнение Нернста выглядит так:

$$E_{\text{Hg}_2\text{O}|\text{Hg}} = E_{\text{Hg}_2\text{O}|\text{Hg}}^0 + \frac{2.3RT}{2F} \lg \frac{a_{\text{Hg}_2\text{O}} \cdot a_{\text{H}_2\text{O}}}{a_{\text{Hg}}^2 \cdot a_{\text{OH}^-}^2}.$$

Поскольку  $\text{Hg}_2\text{O}$  и  $\text{Hg}$  – это индивидуальные химические вещества, их активности считают равными единице и не включают в уравнение Нернста. Кроме того, в неконцентрированных водных растворах  $a_{\text{H}_2\text{O}} \approx 1$ . Следовательно,

$$E_{\text{Hg}_2\text{O}|\text{Hg}} = E_{\text{Hg}_2\text{O}|\text{Hg}}^0 - \frac{2.3RT}{F} \lg a_{\text{OH}^-}.$$

Полезно принять к сведению, что при  $T = 298$  К предлогарифмический множитель  $2.3RT/F$  равен 0.059 В:

$$E_{\text{Hg}_2\text{O}|\text{Hg}} = E_{\text{Hg}_2\text{O}|\text{Hg}}^0 - 0.059 \lg a_{\text{OH}^-}.$$

Эти уравнения могут быть использованы для расчета рН раствора, если измерена величина  $E_{\text{Hg}_2\text{O}|\text{Hg}}$ . Действительно, найдя  $a_{\text{OH}^-}$  и учитывая, что  $a_{\text{H}^+} = 10^{-14}/a_{\text{OH}^-}$ , получим  $\text{pH} = -\lg a_{\text{H}^+}$ .

Для разбавленных растворов активности обычно приравнивают соответствующим молярным концентрациям. Величины  $E^0$  приводятся в физико-химических справочниках.

## Примеры решения задач

**Пример 1.** Рассчитайте ионную силу раствора, содержащего 0.2 моль/кг NaCl, 0.05 моль/кг CuCl<sub>2</sub> и 0.005 моль/кг FeCl<sub>3</sub>.

*Решение*

Ионная сила раствора определяется по формуле:

$$I = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^k m_i z_i^2,$$

где  $m_i$  – моляльная концентрация каждого из ионов в растворе, а  $z_i$  – его заряд. Для рассматриваемого случая ионная сила будет равна:

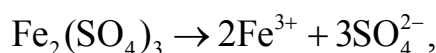
$$I = \frac{1}{2} \cdot \left[ \underbrace{0.2 \cdot 1^2 + 0.2 \cdot 1^2}_{\text{NaCl}} + \underbrace{0.05 \cdot 2^2 + 0.05 \cdot 2 \cdot 1^2}_{\text{CuCl}_2} + \underbrace{0.005 \cdot 3^2 + 0.005 \cdot 3 \cdot 1^2}_{\text{FeCl}_3} \right] = \\ = 0.38 \text{ моль/кг.}$$

*Ответ.*  $I = 0.38$  моль/кг.

**Пример 2.** Для 0.002 моляльного раствора Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> вычислите среднюю ионную моляльность и среднюю ионную активность, а также общую активность электролита, если средний ионный коэффициент активности  $\gamma_{\pm} = 0.79$ .

*Решение*

Запишем уравнение электролитической диссоциации сульфата железа (III):



откуда  $\nu_+ = 2$ ,  $\nu_- = 3$ . Среднюю ионную моляльность рассчитываем по формуле:

$$m_{\pm} = m \cdot (\nu_+^{\nu_+} \cdot \nu_-^{\nu_-})^{1/(\nu_+ + \nu_-)} = 0.002 \cdot (2^2 \cdot 3^3)^{1/5} = 0.0051 \text{ моль/кг.}$$

Среднюю ионную активность вычисляем по уравнению:

$$a_{\pm} = m_{\pm} \cdot \gamma_{\pm} = 0.0051 \cdot 0.79 = 0.004 \text{ моль/кг.}$$

Общая активность  $a$  связана со средней ионной активностью соотношением:

$$a = a_{\pm}^{(\nu_+ + \nu_-)} = (4 \cdot 10^{-3})^5 = 1.02 \cdot 10^{-12} \text{ моль/кг.}$$

*Ответ.*  $m_{\pm} = 0.0051$ ;  $a_{\pm} = 0.004$ ;  $a = 1.02 \cdot 10^{-12}$  моль/кг.

**Пример 3.** Удельная электропроводность 0.135 М раствора пропионовой кислоты C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>COOH равна  $4.79 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ . Рассчитайте эквивалентную электропроводность раствора, константу диссоциации кислоты и pH рас-

твор, если предельные подвижности  $\text{H}^+$  и  $\text{C}_2\text{H}_5\text{COO}^-$  равны соответственно 349.8 и 37.2  $\text{Ом}^{-1}\cdot\text{см}^2\cdot\text{моль}^{-1}$ .

*Решение*

Эквивалентная электропроводность раствора связана с его удельной электропроводностью соотношением:

$$\Lambda = \frac{\kappa \cdot 1000}{c},$$

откуда 
$$\Lambda = \frac{4.79 \cdot 10^{-4} \text{Ом}^{-1}\text{см}^{-1}}{0.135 \text{ моль/л}} \cdot 1000 = 3.55 \text{ Ом}^{-1}\text{см}^2\text{моль}^{-1}.$$

Эквивалентная электропроводность раствора при бесконечном разбавлении, согласно закону Кольрауша, равна:

$$\Lambda^0 = \lambda_+^0 + \lambda_-^0 = 349.8 + 37.2 = 387.0 \text{ Ом}^{-1}\text{см}^2\text{моль}^{-1}.$$

Из этих данных можно найти степень диссоциации пропионовой кислоты

$$\alpha = \Lambda / \Lambda^0 = 3.55 / 387.0 = 0.009,$$

и значение константы диссоциации

$$K = \frac{\alpha^2 c}{1 - \alpha} = \frac{0.009^2 \cdot 0.135}{1 - 0.009} = 1.15 \cdot 10^{-5} \text{ (моль/л)}.$$

Концентрация ионов водорода в растворе составляет

$$[\text{H}^+] = \alpha \cdot c = 0.009 \cdot 0.135 = 1.24 \cdot 10^{-3} \text{ (моль/л)},$$

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+] = 2.91.$$

*Ответ.*  $\Lambda = 3.55 \text{ Ом}^{-1}\cdot\text{см}^2\cdot\text{моль}^{-1}$ ;  $\alpha = 0.009$ ;  $K = 1.15 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л}$ ;  $\text{pH} = 2.91$ .

**Пример 4.** Эквивалентная электропроводность бесконечно разбавленных растворов  $\text{NaCl}$ ,  $\text{NaClO}_3$  и  $\text{HCl}$  при 25 °С равна, соответственно, 126.4; 114.7 и 426.0  $\text{Ом}^{-1}\cdot\text{см}^2\cdot\text{моль}^{-1}$ . Какова эквивалентная электропроводность бесконечно разбавленного раствора  $\text{HClO}_3$  при 25 °С?

*Решение*

Согласно закону Кольрауша,

$$\Lambda^0(\text{NaCl}) = \lambda^0(\text{Na}^+) + \lambda^0(\text{Cl}^-),$$

$$\Lambda^0(\text{NaClO}_3) = \lambda^0(\text{Na}^+) + \lambda^0(\text{ClO}_3^-),$$

$$\Lambda^0(\text{HCl}) = \lambda^0(\text{H}^+) + \lambda^0(\text{Cl}^-),$$

$$\Lambda^0(\text{HClO}_3) = \lambda^0(\text{H}^+) + \lambda^0(\text{ClO}_3^-).$$

Комбинируя приведенные уравнения, получим

$$\begin{aligned}\Lambda^0(\text{HClO}_3) &= \Lambda^0(\text{HCl}) + \Lambda^0(\text{NaClO}_3) - \Lambda^0(\text{NaCl}) = \\ &= 114.7 + 426.0 - 126.4 = 414.3 \text{ (Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{моль}^{-1}\text{)}.\end{aligned}$$

Ответ.  $\Lambda^0(\text{HClO}_3) = 414.3 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$ .

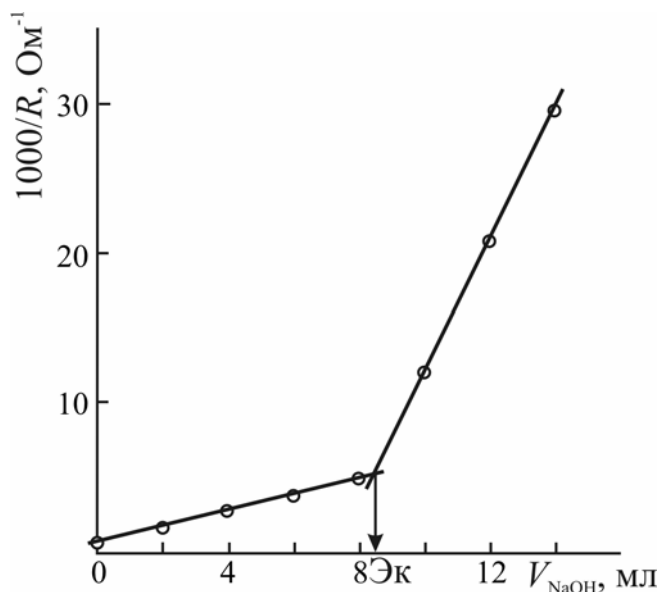
**Пример 5.** В таблице приведены результаты первого (грубого) кондуктометрического титрования некоторой слабой одноосновной кислоты 0.350-молярным раствором NaOH: указаны объем прибавленного титранта ( $V_{\text{NaOH}}$ ) и соответствующее сопротивление электрохимической ячейки ( $R$ ).

$V_{\text{NaOH}}$ , мл	0	2	4	6	8	10	12	14
$R$ , Ом	2000	625	370	263	204	83.3	48.1	34.0

Определите на основе этих данных молярность раствора кислоты, если на ее титрование было взято 40 мл.

*Решение*

Построим график зависимости обратного сопротивления ячейки ( $1/R$ ) от объема прибавленного титранта ( $V_{\text{NaOH}}$ ). Чтобы не иметь дело с очень малыми числами, рекомендуется вместо величин  $1/R$  использовать  $100/R$  или  $1000/R$ . Точку эквивалентности ЭК найдем по характерному излому на полученной зависимости (см. рис.).



Как видно, эквивалентный объем раствора NaOH составляет примерно 8.5 мл. Отсюда

$$c_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{NaOH}} (\text{ЭК}) = c_{\text{кисл}} \cdot V_{\text{кисл}}$$

ИЛИ 
$$c_{\text{кисл}} = \frac{c_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{NaOH}} (\text{ЭК})}{V_{\text{кисл}}} = \frac{0.350 \text{ моль/л} \cdot 8.5 \text{ мл}}{40 \text{ мл}} = 0.074 \text{ моль/л}.$$

Ответ.  $c_{\text{кисл}} = 0.074 \text{ моль/л}$ .

**Пример 6.** Кадмий, предварительно осажденный на платиновую сетку (электрод Фишера), полностью растворили анодным током  $I = 140$  мА в водном растворе  $K_2SO_4$ . Сколько г кадмия было осаждено на электрод Фишера, если время анодного растворения составило  $t = 1$  час 48 мин?

*Решение*

В растворе сульфата калия анодное растворение кадмия протекает по схеме:  $Cd \rightarrow Cd^{2+} + 2e^-$ . Массу растворившегося металла вычислим по закону Фарадея:

$$m_{Cd} = \frac{M_{Cd} \cdot It}{2F},$$

где  $M_{Cd}$  – молярная масса Cd,  $F$  – постоянная Фарадея. Подставляя в эту формулу  $M_{Cd} = 112.41$  г/моль;  $I = 0.140$  А;  $t = 6480$  с и  $F = 96485$  Кл/моль, находим  $m_{Cd} = 0.528$  г.

*Ответ.* 0.528 г.

**Пример 7.** При 298 К ЭДС гальванического элемента, составленного из хлоридсеребряного электрода с концентрацией KCl, равной 0.01 моль/л, и хингидронного электрода, приготовленного на основе исследуемого раствора, равна 0.150 В. Вычислите рН исследуемого раствора.

*Решение*

ЭДС цепи, составленной из исследуемого электрода и электрода сравнения, определяется по формуле:

$$E = E_{иссл.} - E_{сравн.}$$

где  $E_{иссл.} = E_{C_6H_4O_2|C_6H_4(OH)_2}^0 - 0.059pH$ ,

и  $E_{сравн.} = E_{Ag,AgCl|Cl^-}^0 - 0.059 \lg a_{Cl^-}$ . Поскольку раствор KCl малой концентрации, полагаем  $a_{Cl^-} = 0.01$ .

Подставляя значения для  $E_{иссл.}$  и  $E_{сравн.}$  в формулу для ЭДС гальванического элемента и выражая рН, получим:

$$\begin{aligned} pH &= \frac{\left( E_{C_6H_4O_2|C_6H_4(OH)_2}^0 - E_{Ag,AgCl|Cl^-}^0 \right) - E}{0.059} + \lg a_{Cl^-} = \\ &= \frac{(0.699 - 0.222) - 0.150}{0.059} + \lg 0.01 = 3.54. \end{aligned}$$

*Ответ.* рН = 3.54.

## Задачи

- 3-1. Рассчитайте ионную силу раствора, содержащего 0.10 моль/кг KCl и 0.20 моль/кг CuSO<sub>4</sub>.
- 3-2. Вычислите ионную силу раствора, содержащего по 10 г CaCl<sub>2</sub> и AlCl<sub>3</sub> в 1000 г воды.
- 3-3. Вычислите ионную силу водного раствора, содержащего 0.05 моль/кг Ba(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> и 0.01 моль/кг Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>.
- 3-4. Рассчитайте ионную силу раствора, содержащего 0.04 моль/кг K<sub>3</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>], 0.03 моль/кг KCl и 0.05 моль/кг NaBr.
- 3-5. Вычислите ионную силу 0.05 моль/кг раствора BaCl<sub>2</sub>. Какова должна быть моляльность раствора KCl, чтобы их ионные силы были равны?
- 3-6. Определите ионную силу раствора, содержащего 0.01 моль/кг ацетата натрия и 0.05 моль/кг сульфата натрия.
- 3-7. Вычислите ионную силу раствора смеси электролитов, если в нем содержатся (моль на 1000 г воды) следующие соли: MgSO<sub>4</sub> – 0.005; LaCl<sub>3</sub> – 0.010; Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> – 0.006.
- 3-8. Рассчитайте моляльность раствора Al(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>, имеющего ионную силу 0.30 моль/кг.
- 3-9. Вычислите ионную силу раствора, содержащего 14.2 г Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и 32.8 г Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> в 1000 г воды.
- 3-10. Какой должна быть концентрация раствора хлорида кальция, чтобы его ионная сила была такой же как у физиологического 1%-го раствора хлорида натрия? Плотность обоих растворов 1 г/см<sup>3</sup>.
- 3-11. Чему равна моляльность раствора Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, имеющего такую же ионную силу, как и 0.30 моль/кг раствор NaNO<sub>3</sub>?
- 3-12. Вычислите ионную силу раствора, содержащего 10 ммоль/л CaCl<sub>2</sub> и 100 ммоль/л Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.
- 3-13. Чему равна моляльность раствора Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, имеющего такую же ионную силу, как 0.36 моль/кг раствор KCl?
- 3-14. Рассчитайте ионную силу раствора, содержащего (моль на 1000 г воды) следующие соли: MgSO<sub>4</sub> – 0.01; K<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> – 0.025.
- 3-15. Вычислите ионную силу раствора, содержащего 0.05 моль/кг K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и 0.1 моль/кг AlCl<sub>3</sub>.
- 3-16. Вычислите ионную силу раствора смеси электролитов, если в нем содержатся (моль на 1000 г воды) следующие соли: MgSO<sub>4</sub> – 0.01; LaCl<sub>3</sub> – 0.002; Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> – 0.005.



- 3-17.** Рассчитайте массу  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ , которую нужно добавить к 0.15 моль/кг раствору  $\text{KNO}_3$ , содержащему 500 г воды, чтобы увеличить его ионную силу до 0.250 моль/кг.
- 3-18.** Рассчитайте ионную силу раствора, содержащего (моль/кг):  $\text{NaCl}$  – 0.085;  $\text{KCl}$  – 0.013;  $\text{NaNO}_3$  – 0.048.
- 3-19.** Ионная сила водного раствора  $\text{NaCl}$  равна 0.20 моль/кг. Какова его моляльная концентрация? Какова концентрация раствора  $\text{BaCl}_2$  той же ионной силы?
- 3-20.** Рассчитайте моляльность раствора  $\text{CuCl}_2$ , имеющего ионную силу 0.60 моль/кг.
- 3-21 – 3.40. Многовариантная задача.** По данным о моляльности  $m$  и среднем ионном коэффициенте активности  $\gamma_{\pm}$  электролита вычислите среднюю ионную концентрацию  $m_{\pm}$ , среднюю ионную активность  $a_{\pm}$  и активность электролита  $a$ .

№ п/п	Вещество	$m$ , моль/кг	$\gamma_{\pm}$	№ п/п	Вещество	$m$ , моль/кг	$\gamma_{\pm}$
3-21	$\text{CaCl}_2$	0.060	0.92	3-31	$\text{Cd}(\text{ClO}_4)_2$	0.010	1.07
3-22	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	0.050	0.94	3-32	$\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$	0.004	1.04
3-23	$\text{MgI}_2$	0.040	0.96	3-33	$\text{ZnI}_2$	0.009	1.08
3-24	$\text{MgBr}_2$	0.030	0.99	3-34	$\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$	0.002	0.79
3-25	$\text{HCl}$	0.100	1.27	3-35	$\text{Ba}(\text{ClO}_4)_2$	0.001	1.17
3-26	$\text{HClO}_4$	0.090	1.27	3-36	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	0.005	0.69
3-27	$\text{LiBr}$	0.080	1.28	3-37	$\text{AlPO}_4$	0.003	0.97
3-28	$\text{NaOH}$	0.070	1.28	3-38	$\text{Li}_2\text{SO}_4$	0.008	1.08
3-29	$\text{AlCl}_3$	0.005	1.00	3-39	$\text{K}_2\text{SO}_4$	0.007	1.09
3-30	$\text{SnCl}_2$	0.020	1.02	3-40	$\text{Na}_2\text{SO}_4$	0.006	1.10

- 3-41.** Эквивалентная электропроводность бесконечно разбавленных растворов  $\text{KCl}$ ,  $\text{KNO}_3$  и  $\text{AgNO}_3$  при 25 °C равна, соответственно, 149.9, 145.0 и 133.4  $\text{Om}^{-1}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{mоль}^{-1}$ . Какова эквивалентная электропроводность бесконечно разбавленного раствора  $\text{AgCl}$  при 25 °C?
- 3-42.** Эквивалентная электропроводность бесконечно разбавленных растворов соляной кислоты, хлорида натрия и ацетата натрия при 25 °C равна, соответственно, 425.0, 128.1 и 91.0  $\text{Om}^{-1}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{mоль}^{-1}$ . Какова эквивалентная электропроводность бесконечно разбавленного раствора уксусной кислоты при 25 °C?
- 3-43.** Молярная электропроводность бесконечно разбавленного раствора хлорида аммония равна 149.7  $\text{Om}^{-1}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{mоль}^{-1}$ , а ионные электропроводности  $\text{Cl}^-$  и  $\text{OH}^-$  равны 76.3 и 198  $\text{Om}^{-1}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{mоль}^{-1}$ . Вычислить предельную молярную электропроводность  $\Lambda^0(\text{NH}_4\text{OH})$ .

- 3-44. Вычислите предельную молярную электропроводность бензойной кислоты, если предельные молярные электропроводности электролитов NaBr, HBr и  $C_6H_5COONa$  соответственно равны: 128.5; 428.2 и  $82.5 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$ .
- 3-45. Вычислите эквивалентную электропроводность  $AgNO_3$  при бесконечном разбавлении, если при 298 К эквивалентные электропроводности для  $NaNO_3$ ,  $CH_3COONa$ ,  $CH_3COOAg$  соответственно равны 121.5; 91.0;  $102.8 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$ .
- 3-46. Раствор уксусной кислоты с концентрацией 0.001 М имеет удельную электропроводность  $4.1 \cdot 10^{-5} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ . Рассчитайте степень диссоциации этого раствора и константу диссоциации уксусной кислоты, если известно, что  $\lambda^0(Na^+) = 50.1$ ;  $\lambda^0(H^+) = 315$ ;  $\lambda^0(CH_3COONa) = 91.0 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$ .
- 3-47. При 291 К эквивалентная электропроводность раствора пропиламина  $C_3H_7NH_3OH$  при концентрации 0.016 моль/л равна  $43.5 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$ . Константа диссоциации пропиламина  $4.7 \cdot 10^{-4}$  моль/л. Вычислите значение предельной подвижности катиона  $\lambda^0(C_3H_7NH_3^+)$ , если  $\lambda^0(OH^-) = 198 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$ .
- 3-48. Эквивалентная электропроводность водного раствора сильного электролита при 25°C равна  $109.9 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$  при концентрации  $6.2 \cdot 10^{-3}$  моль/л и  $106.1 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$  при концентрации  $1.5 \cdot 10^{-2}$  моль/л. Какова эквивалентная электропроводность раствора при бесконечном разбавлении?
- 3-49. Эквивалентная электропроводность  $1.59 \cdot 10^{-4}$  моль/л раствора уксусной кислоты при 25 °С равна  $100.78 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$ . Рассчитайте константу диссоциации кислоты и рН раствора, если  $\lambda^0(H^+) = 315$ ,  $\lambda^0(CH_3COO^-) = 40.9 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$ .
- 3-50. Эквивалентная электропроводность раствора гидроксида этиламмония  $C_2H_5NH_3OH$  при бесконечном разведении равна  $232.6 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$ . Рассчитайте константу диссоциации гидроксида этиламмония, эквивалентную электропроводность раствора, степень диссоциации и концентрацию ионов гидроксила в растворе при разведении 16 л/моль, если удельная электропроводность раствора при данном разведении равна  $1.312 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ .
- 3-51. Молярная электропроводность раствора муравьиной кислоты при 25 °С и разведении 1024 л/моль равна  $143.9 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$ , а при бесконечном разведении –  $406.5 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$ . Определите константу диссоциации кислоты.
- 3-52. Удельная электропроводность раствора этиламина с концентрацией 0.016 моль/л равна  $6.125 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ , а молярная электропровод-

- ность при бесконечном разведении этого раствора составляет  $247.2 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$ . Определите степень и константу диссоциации этиламина.
- 3-53.** Удельная электропроводность  $0.01 \text{ М}$  раствора  $\text{NH}_4\text{OH}$  равна  $1 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ . Определите степень и константу диссоциации гидроксида аммония, если  $\lambda^0(\text{NH}_4^+) = 73.4$ , а  $\lambda^0(\text{OH}^-) = 198 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$ .
- 3-54.** Удельная электропроводность раствора  $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$  с концентрацией  $5.157 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л}$  при  $298 \text{ К}$  равна  $2.113 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ ; молярная электропроводность при бесконечном разбавлении равна  $379.7 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$ . Вычислите степень диссоциации и константу диссоциации бензойной кислоты.
- 3-55.** Константа диссоциации гидроксида аммония равна  $1.79 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л}$ . Рассчитайте концентрацию  $\text{NH}_4\text{OH}$ , при которой степень диссоциации равна  $0.01$ , и эквивалентную электропроводность раствора при этой концентрации.
- 3-56.** Константа диссоциации масляной кислоты  $\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}$  равна  $1.74 \cdot 10^{-5}$ . Эквивалентная электропроводность раствора при разведении  $1024 \text{ л/моль}$  равна  $41.3 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$ . Рассчитайте степень диссоциации кислоты и концентрацию ионов водорода в этом растворе, а также эквивалентную электропроводность раствора при бесконечном разведении.
- 3-57.** Рассчитайте эквивалентную электрическую проводимость при  $298 \text{ К}$  и бесконечном разбавлении для монохлоруксусной кислоты, если константа диссоциации  $K_{\text{дис}} = 1.55 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л}$ , а эквивалентная электрическая проводимость при разбавлении  $32 \text{ л/моль}$  равна  $77.2 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$ .
- 3-58.** Константа диссоциации молочной кислоты в воде равна  $1,37 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л}$ , а молярная электропроводность при бесконечном разбавлении  $\Lambda^0 = 365.9 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$ . При какой концентрации кислоты в растворе его молярная электропроводность будет равна  $32 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$ ?
- 3-59.** Молярная электропроводность  $0.5 \text{ М}$  раствора  $\text{K}_2\text{SO}_4$  при  $298 \text{ К}$  равна  $162.7 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$ . Определите удельную и эквивалентную электропроводность при этой температуре.
- 3-60.** Удельная электропроводность  $4\%$ -го раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$  при  $18^\circ\text{C}$  равна  $0.168 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ , плотность раствора –  $1.026 \text{ г/см}^3$ . Рассчитайте молярную электропроводность раствора.
- 3-61 – 3-70. Многовариантная задача.** В таблице приведены результаты первого (грубого) кондуктометрического титрования раствора  $\text{NaOH}$   $0.250$ -молярным раствором  $\text{HCl}$ : указаны объем титруемого раствора ( $V_{\text{NaOH}}$ ), объем прибавленного титранта и соответствующее сопротивление электрохимической ячейки. Определите графически на основе этих данных молярность раствора  $\text{NaOH}$ .

№ п/п	3-61	3-62	3-63	3-64	3-65	3-66	3-67	3-68	3-69	3-70
$V_{\text{NaOH}}$ , мл	30	25	25	40	30	30	20	25	30	15
Объем прибавленного титранта, мл (числитель) и сопротивление ячейки, Ом (знаменатель)	$\frac{0}{35.1}$	$\frac{0}{41.7}$	$\frac{0}{24.4}$	$\frac{0}{70.9}$	$\frac{0}{28.6}$	$\frac{0}{25.0}$	$\frac{0}{37.0}$	$\frac{0}{30.0}$	$\frac{0}{47.6}$	$\frac{0}{23.8}$
	$\frac{1}{37.5}$	$\frac{1}{44.8}$	$\frac{2}{27.3}$	$\frac{2}{79.4}$	$\frac{2}{32.6}$	$\frac{1}{26.8}$	$\frac{1}{40.5}$	$\frac{2}{34.8}$	$\frac{2}{53.8}$	$\frac{1}{26.0}$
	$\frac{2}{40.0}$	$\frac{2}{48.8}$	$\frac{4}{31.2}$	$\frac{4}{90.9}$	$\frac{3}{35.1}$	$\frac{2}{28.8}$	$\frac{2}{44.4}$	$\frac{3}{37.6}$	$\frac{3}{56.8}$	$\frac{2}{28.7}$
	$\frac{3}{42.9}$	$\frac{3}{53.2}$	$\frac{5}{33.3}$	$\frac{6}{105}$	$\frac{4}{38.0}$	$\frac{3}{31.2}$	$\frac{3}{49.3}$	$\frac{4}{41.1}$	$\frac{4}{61.3}$	$\frac{3}{31.2}$
	$\frac{4}{46.5}$	$\frac{4}{58.1}$	$\frac{6}{36.1}$	$\frac{7}{115}$	$\frac{5}{41.5}$	$\frac{4}{34.0}$	$\frac{4}{55.6}$	$\frac{5}{45.2}$	$\frac{5}{66.2}$	$\frac{4}{36.2}$
	$\frac{5}{50.5}$	$\frac{5}{64.5}$	$\frac{7}{39.2}$	$\frac{8}{127}$	$\frac{6}{45.5}$	$\frac{5}{37.5}$	$\frac{5}{63.7}$	$\frac{6}{50.5}$	$\frac{6}{71.4}$	$\frac{5}{41.7}$
	$\frac{6}{55.4}$	$\frac{6}{73.0}$	$\frac{8}{43.3}$	$\frac{9}{139}$	$\frac{7}{50.8}$	$\frac{6}{41.5}$	$\frac{6}{74.1}$	$\frac{7}{56.8}$	$\frac{7}{78.7}$	$\frac{6}{49.3}$
	$\frac{7}{61.3}$	$\frac{7}{83.3}$	$\frac{9}{47.8}$	$\frac{10}{123}$	$\frac{8}{49.7}$	$\frac{7}{46.5}$	$\frac{7}{70.9}$	$\frac{8}{64.9}$	$\frac{8}{86.2}$	$\frac{7}{42.0}$
	$\frac{8}{68.5}$	$\frac{8}{81.3}$	$\frac{10}{53.5}$	$\frac{11}{90.9}$	$\frac{9}{43.3}$	$\frac{8}{40.5}$	$\frac{8}{57.1}$	$\frac{9}{57.8}$	$\frac{9}{82.0}$	$\frac{8}{36.5}$
	$\frac{9}{56.5}$	$\frac{9}{64.9}$	$\frac{11}{48.3}$	$\frac{12}{73.0}$	$\frac{10}{38.2}$	$\frac{9}{35.5}$	$\frac{9}{47.8}$	$\frac{10}{48.8}$	$\frac{10}{69.0}$	$\frac{9}{32.4}$
	$\frac{10}{47.6}$	$\frac{10}{54.1}$	$\frac{12}{42.4}$	$\frac{13}{60.2}$	$\frac{11}{34.1}$	$\frac{10}{31.5}$	$\frac{10}{41.3}$	$\frac{11}{42.0}$	$\frac{11}{59.2}$	$\frac{10}{28.9}$
	$\frac{11}{41.5}$	$\frac{11}{46.5}$	$\frac{13}{37.7}$	$\frac{14}{51.5}$	$\frac{12}{31.1}$	$\frac{11}{28.3}$	$\frac{12}{32.4}$	$\frac{12}{37.0}$	$\frac{13}{46.1}$	$\frac{11}{26.2}$
$\frac{12}{36.4}$	$\frac{12}{40.5}$	$\frac{14}{33.8}$	$\frac{15}{45.5}$	$\frac{13}{28.2}$	$\frac{12}{25.8}$	$\frac{14}{26.5}$	$\frac{14}{30.0}$	$\frac{15}{37.9}$	$\frac{12}{24.0}$	

**3-71 – 3-80. Многовариантная задача.** В таблице приведены результаты первого (грубого) кондуктометрического титрования раствора  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0.300-молярным раствором  $\text{NaOH}$ : указаны объем титруемого раствора ( $V_{\text{CH}_3\text{COOH}}$ ), объем прибавленного титранта и соответствующее сопротивление электрохимической ячейки. Определите графически на основе этих данных молярность раствора  $\text{CH}_3\text{COOH}$ .

№ п/п	3-71	3-72	3-73	3-74	3-75	3-76	3-77	3-78	3-79	3-80
$V_{\text{NaOH}}$ , мл	40	20	25	30	30	25	30	40	40	30
	$\frac{0}{4160}$	$\frac{0}{1430}$	$\frac{0}{1330}$	$\frac{0}{2210}$	$\frac{0}{1280}$	$\frac{0}{1670}$	$\frac{0}{1850}$	$\frac{0}{1900}$	$\frac{0}{1330}$	$\frac{0}{1470}$
	$\frac{2}{1330}$	$\frac{2}{714}$	$\frac{1}{833}$	$\frac{2}{870}$	$\frac{2}{488}$	$\frac{2}{556}$	$\frac{2}{640}$	$\frac{2}{659}$	$\frac{1}{769}$	$\frac{1}{833}$

№ п/п	3-71	3-72	3-73	3-74	3-75	3-76	3-77	3-78	3-79	3-80
Объем прибавленного титранта, мл (числитель) и сопротивление ячейки, Ом (знаменатель)	$\frac{3}{952}$	$\frac{3}{588}$	$\frac{2}{588}$	$\frac{4}{667}$	$\frac{3}{370}$	$\frac{3}{426}$	$\frac{4}{375}$	$\frac{4}{386}$	$\frac{2}{556}$	$\frac{2}{588}$
	$\frac{4}{741}$	$\frac{4}{500}$	$\frac{3}{455}$	$\frac{5}{532}$	$\frac{4}{298}$	$\frac{4}{338}$	$\frac{5}{311}$	$\frac{5}{320}$	$\frac{3}{417}$	$\frac{3}{455}$
	$\frac{5}{625}$	$\frac{5}{417}$	$\frac{4}{370}$	$\frac{6}{377}$	$\frac{5}{250}$	$\frac{5}{282}$	$\frac{6}{267}$	$\frac{6}{275}$	$\frac{4}{345}$	$\frac{4}{370}$
	$\frac{6}{513}$	$\frac{6}{370}$	$\frac{5}{312}$	$\frac{7}{333}$	$\frac{6}{213}$	$\frac{6}{242}$	$\frac{7}{234}$	$\frac{7}{241}$	$\frac{5}{289}$	$\frac{5}{311}$
	$\frac{7}{455}$	$\frac{7}{323}$	$\frac{6}{272}$	$\frac{8}{294}$	$\frac{7}{187}$	$\frac{7}{212}$	$\frac{8}{208}$	$\frac{8}{172}$	$\frac{6}{250}$	$\frac{6}{269}$
	$\frac{8}{392}$	$\frac{8}{294}$	$\frac{7}{206}$	$\frac{9}{230}$	$\frac{8}{167}$	$\frac{8}{189}$	$\frac{9}{187}$	$\frac{9}{125}$	$\frac{7}{190}$	$\frac{7}{236}$
	$\frac{9}{308}$	$\frac{9}{233}$	$\frac{8}{142}$	$\frac{10}{174}$	$\frac{9}{141}$	$\frac{9}{143}$	$\frac{10}{154}$	$\frac{10}{98.5}$	$\frac{8}{154}$	$\frac{8}{189}$
	$\frac{10}{714}$	$\frac{10}{189}$	$\frac{9}{107}$	$\frac{11}{140}$	$\frac{10}{110}$	$\frac{10}{114}$	$\frac{11}{119}$	$\frac{11}{81.0}$	$\frac{9}{129}$	$\frac{9}{154}$
	$\frac{11}{192}$	$\frac{11}{159}$	$\frac{10}{86.2}$	$\frac{12}{118}$	$\frac{11}{90.1}$	$\frac{11}{93.5}$	$\frac{12}{97.6}$	$\frac{12}{69.0}$	$\frac{10}{111}$	$\frac{10}{129}$
	$\frac{13}{139}$	$\frac{13}{123}$	$\frac{11}{71.4}$	$\frac{13}{100}$	$\frac{12}{76.3}$	$\frac{13}{69.4}$	$\frac{14}{71.2}$	$\frac{13}{59.9}$	$\frac{11}{97.1}$	$\frac{11}{111}$
	$\frac{15}{109}$	$\frac{15}{99.0}$	$\frac{12}{62.1}$	$\frac{14}{88.5}$	$\frac{14}{58.3}$	$\frac{15}{54.9}$	$\frac{16}{55.9}$	$\frac{14}{52.9}$	$\frac{12}{86.6}$	$\frac{12}{97.6}$

**3-81 – 3-90. Многовариантная задача.** Для определения концентрации ионов тяжелого металла в растворе их длительное время восстанавливали катодно на платиновой сетке (электрод Фишера). Объем раствора составлял  $V_p$ . После этого электрод промывали, высушивали и взвешивали. По увеличению массы электрода  $\Delta m$  судили о содержании ионов металла в выбранной порции раствора. Затем электрод помещали в специальный раствор и анодным током полностью растворяли осажденный металл. Режим анодного растворения, а также иные условия опыта указаны в таблице. Рассчитайте на основе этих данных концентрацию ионов тяжелого металла (моль/л) в растворе и сопоставьте результаты весового и кулонометрического анализа (в %). При расчетах используйте точные атомные массы элементов, постоянную Фарадея считайте равной  $F = 96\,485$  Кл/моль.

№ п/п	Определяемые ионы	$V_p$ , мл	$\Delta m$ , г	Режим анодного растворения		
				Раствор	Ток, мА	Время, мин
3-81	$Ag^+$	200	0.4111	$KNO_3$	85	72
3-82	$Ag^+$	200	0.4569	$KNO_3$	100	68
3-83	$Ag^+$	175	0.4031	$KNO_3$	80	75
3-84	$Cu^{2+}$	220	0.1994	$H_2SO_4$	120	82

№ п/п	Определяемые ионы	$V_p$ , мл	$\Delta m$ , г	Режим анодного растворения		
				Раствор	Ток, мА	Время, мин
<b>3-85</b>	$\text{Cu}^{2+}$	180	0.2300	$\text{H}_2\text{SO}_4$	100	115
<b>3-86</b>	$\text{Cu}^{2+}$	160	0.1912	$\text{H}_2\text{SO}_4$	100	96
<b>3-87</b>	$\text{Cd}^{2+}$	150	0.3792	$\text{K}_2\text{SO}_4$	75	144
<b>3-88</b>	$\text{Cd}^{2+}$	200	0.4177	$\text{K}_2\text{SO}_4$	110	108
<b>3-89</b>	$\text{Ni}^{2+}$	175	0.2005	$\text{HCl}$	80	136
<b>3-90</b>	$\text{Ni}^{2+}$	175	0.2396	$\text{HCl}$	100	128

**3-91 – 3-95. Многовариантная задача.** Для элемента, составленного из стандартного водородного электрода на основе исследуемого раствора и хлоридсеребряного электрода с концентрацией  $\text{KCl}$  равной  $c$ , значения ЭДС (при 298 К) приведены в таблице. Рассчитайте рН исследуемого раствора, если  $E_{\text{H}^+|\text{H}_2}^0 = 0.00 \text{ В}$ ,  $E_{\text{Ag,AgCl}|\text{Cl}^-}^0 = 0.22 \text{ В}$ .

№ п/п	$\mathcal{E}$ , В	$c$ , моль/л
<b>3-91</b>	-0.325	1.0
<b>3-92</b>	-0.590	0.1
<b>3-93</b>	-0.425	0.01
<b>3-94</b>	-0.640	0.001
<b>3-95</b>	-0.820	0.0001

**3-96 – 3-100. Многовариантная задача.** Для элемента, составленного из хингидронного электрода на основе исследуемого раствора и хлоридсеребряного электрода с концентрацией  $\text{KCl}$  равной  $c$ , значения ЭДС (при 298 К) приведены в таблице. Рассчитайте рН исследуемого раствора, если  $E_{\text{C}_6\text{H}_4\text{O}_2|\text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})_2}^0 = 0.70 \text{ В}$ ,  $E_{\text{Ag,AgCl}|\text{Cl}^-}^0 = 0.22 \text{ В}$ .

№ п/п	$\mathcal{E}$ , В	$c$ , моль/л
<b>3-96</b>	0.040	0.0001
<b>3-97</b>	0.135	0.001
<b>3-98</b>	0.000	0.01
<b>3-99</b>	-0.005	0.1
<b>3-100</b>	0.050	1.0

**3-101 – 3-105. Многовариантная задача.** Для элемента, составленного из сурьмяного электрода на основе исследуемого раствора и хлоридсеребряного электрода с концентрацией  $\text{KCl}$  равной  $c$ , значения ЭДС (при 298 К) приведены в таблице. Рассчитайте рН исследуемого раствора, если  $E_{\text{Sb}_2\text{O}_3|\text{Sb}}^0 = 0.64 \text{ В}$ ,  $E_{\text{Ag,AgCl}|\text{Cl}^-}^0 = 0.22 \text{ В}$ .

№ п/п	$E$ , В	$c$ , моль/л
<b>3-101</b>	0.335	1.0
<b>3-102</b>	0.275	0.1
<b>3-103</b>	-0.110	0.01
<b>3-104</b>	0.020	0.001
<b>3-105</b>	-0.050	0.0001

**3-106 – 3-110. Многовариантная задача.** Для элемента, составленного из ртутно-оксидного электрода на основе исследуемого раствора и хлоридсеребряного электрода с концентрацией КСl равной  $c$ , значения ЭДС (при 298 К) приведены в таблице. Рассчитайте рН исследуемого раствора, если  $E_{\text{Hg}_2\text{O}|\text{Hg}}^0 = 0.985 \text{ В}$ ,  $E_{\text{Ag,AgCl}|\text{Cl}^-}^0 = 0.222 \text{ В}$ .

№ п/п	$E$ , В	$c$ , моль/л
<b>3-106</b>	0.300	0.0001
<b>3-107</b>	0.455	0.001
<b>3-108</b>	0.215	0.01
<b>3-109</b>	0.145	0.1
<b>3-110</b>	0.675	1.0

## Контрольная работа № 4

**Поверхностные явления. Поверхностное натяжение жидкостей. Адсорбция. Изотерма адсорбции Гиббса. Изотерма адсорбции Ленгмюра. Коллоидные растворы. Основы коллоидной химии**

### Основные формулы

1. Термодинамически обратимая, изотермическая работа  $A$ , затрачиваемая на увеличение площади межфазной поверхности  $\Delta S > 0$ , равна

$$A = -\sigma\Delta S,$$

где  $\sigma$  – поверхностное натяжение.

В соответствии с принятой системой знаков работа  $A$  считается отрицательной, т. к. она совершается над системой.

2. При расчетах  $\Delta S$  исходят из положения, что при изменении площади межфазной поверхности объем жидкости остается постоянным. Вычисления  $\Delta S = S_2 - S_1$  производят по формулам элементарной геометрии.

3. Величина избыточной адсорбции растворенного вещества на поверхности жидкого раствора связана со способностью этого вещества изменять поверхностное натяжение раствора. Эта связь устанавливается уравнением адсорбции (изотермой Гиббса):

$$\Gamma = -\frac{c}{RT} \cdot \frac{d\sigma}{dc},$$

где  $\Gamma$  – избыточная адсорбция (моль/м<sup>2</sup>);  $c$  – концентрация вещества в объеме раствора (моль/м<sup>3</sup>);  $R$  – универсальная газовая постоянная (8.31 Дж/(моль·К));  $T$  – абсолютная температура (К), при которой происходит адсорбция;  $d\sigma/dc$  – так называемая поверхностная активность растворенного вещества (Дж·м/моль) при заданной концентрации  $c$ .

В соответствии с уравнением Гиббса знак адсорбции ( $\Gamma > 0$  или  $\Gamma < 0$ ) определяется знаком производной  $d\sigma/dc$ . Если  $d\sigma/dc < 0$ , то  $\Gamma > 0$ , т. е. наблюдается положительная избыточная адсорбция (вещество концентрируется на поверхности раствора). Если же  $d\sigma/dc > 0$ , то  $\Gamma < 0$ , т. е. имеет место отрицательная избыточная адсорбция (вещество уходит с поверхности в объем раствора).

Заметим, что в представленной форме уравнение Гиббса применяется только для разбавленных растворов.



## Примеры решения задач

**Пример 1.** При дроблении 1 г кристаллического кремния получены частицы кубической формы с длиной ребра  $l = 5 \cdot 10^{-6}$  см. Определите количество полученных частиц и их суммарную поверхность, если плотность кремния  $\rho = 2.42$  г/см<sup>3</sup>.

*Решение*

Масса одной кубической частицы определяется по формуле  $m_{\text{куб.}} = \rho \cdot V_{\text{куб.}} = \rho \cdot l^3$ , а площадь ее поверхности  $S_{\text{куб.}} = 6 \cdot l^2$ .

Отсюда  $m_{\text{куб.}} = 2.42$  г/см<sup>3</sup>  $\cdot (5 \cdot 10^{-6}$  см)<sup>3</sup> =  $3.02 \cdot 10^{-16}$  г.

Если общая масса вещества  $m$ , то количество полученных частиц можно найти как

$$N = m / m_{\text{куб.}} = 1 / 3.02 \cdot 10^{-16} = 3.3 \cdot 10^{15} \text{ шт.},$$

а суммарная поверхность частиц

$$S_{\text{нов.}} = S_{\text{куб.}} \cdot N = 6l^2 \cdot N = 6 \cdot (5 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 3.3 \cdot 10^{15} = 495000 \text{ см}^2.$$

*Ответ.*  $N = 3.3 \cdot 10^{15}$  шт;  $S_{\text{нов.}} = 495000$  см<sup>2</sup>.

**Пример 2.** Капля ртути в виде шара объемом 0.40 мл разделена на 10 одинаковых капелек шарообразной формы. Рассчитайте работу, затраченную на этот процесс, если поверхностное натяжение ртути при температуре опыта составляет 465 мДж/м<sup>2</sup>.

*Решение*

При делении капли общий объем жидкости не изменяется, поэтому  $V = \frac{4}{3} \pi r^3 N$ , откуда радиус малых капель равен:

$$r = \sqrt[3]{\frac{V}{\frac{4}{3} \pi N}} = \sqrt[3]{\frac{0.40 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3}{1.33 \cdot 3.14 \cdot 10}} = 2.12 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Аналогичным путем найдем радиус большой капли:

$$R = \sqrt[3]{\frac{V}{\frac{4}{3} \pi}} = \sqrt[3]{\frac{0.40 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3}{1.33 \cdot 3.14}} = 4.57 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Термодинамически обратимая работа (при  $T = \text{const}$ ) равна:

$$A = -\sigma \Delta S = -\sigma(S_2 - S_1),$$

где  $S_2$  и  $S_1$  – площадь поверхности малых капель и большой капли соответственно,  $\sigma$  – поверхностное натяжение. Отсюда

$$A = -465 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Дж}}{\text{м}^2} \cdot \left[ 4 \cdot 3.14 \cdot (2.12 \cdot 10^{-3} \text{ м})^2 - 4 \cdot 3.14 \cdot (4.57 \cdot 10^{-3} \text{ м})^2 \right] =$$

$$= -1.41 \cdot 10^{-4} \text{ Дж.}$$

Ответ.  $-1.41 \cdot 10^{-4}$  Дж.

**Пример 3.** Работа, затраченная при делении ртутной капли на 8 равных частей, равна  $-1.76 \cdot 10^{-5}$  Дж. Капля имеет форму шара радиуса 2 мм и помещена в нитробензол. Рассчитайте поверхностное натяжение ртути, граничащей с нитробензолом.

*Решение*

Решение задачи аналогично предыдущей. Из условия постоянства объема ртути  $\frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{4}{3}\pi r^3 \cdot 8$  находим радиус малой капли:  $r = R/2 = 1$  мм. Работа по увеличению площади поверхности раздела фаз удовлетворяет условию:

$$A = -\sigma(S_2 - S_1) = -\sigma(4\pi r^2 \cdot N - 4\pi R^2);$$

отсюда при  $N = 8$  находим  $\sigma = 350$  мДж/м<sup>2</sup>.

Эта величина заметно ниже поверхностного натяжения ртути на границе с воздухом (465 мДж/м<sup>2</sup>). Чтобы понять полученный результат, вспомните механизм возникновения поверхностного натяжения.

Ответ. 350 мДж/м<sup>2</sup>.

**Пример 4.** Определите тип поверхностной активности растворенного в воде сульфата цинка, если известно, что при концентрациях соли  $\omega_1 = 5$  масс.% и  $\omega_2 = 15$  масс.% поверхностные натяжения растворов соответственно равны  $\sigma_1 = 73.2$  и  $\sigma_2 = 74.8$  мДж/м<sup>2</sup>.

*Решение*

Тип поверхностной активности вещества определяется характером зависимости поверхностного натяжения раствора от содержания в нем (концентрации) этого вещества  $\sigma = \sigma(c)$  или  $\sigma = \sigma(\omega)$ . В данном случае эта зависимость возрастающая, поскольку

$$\frac{\Delta\sigma}{\Delta\omega} = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\omega_2 - \omega_1} = \frac{74.8 - 73.2}{0.15 - 0.05} = 16 \text{ (мДж/м}^2\text{)}.$$

Положительный знак  $\Delta\sigma / \Delta\omega$  говорит о том, что сульфат цинка принадлежит к поверхностно-инактивным веществам.

**Пример 5.** При концентрации некоторого вещества в объеме раствора, равной 0.075 моль/л, величина  $d\sigma/dc$  составляет  $-6.25 \cdot 10^{-5}$  Дж·м/моль. Рассчи-

тайте значение избыточной адсорбции этого вещества на границе раствор–воздух, если температура раствора равна 20 °С.

*Решение*

Расчет избыточной адсорбции проводится с использованием изотермы Гиббса:

$$\Gamma = -\frac{c}{RT} \cdot \frac{d\sigma}{dc}.$$

В данном случае  $c = 0.075$  моль/л = 75 моль/м<sup>3</sup> и  $T = t + 273 = 293$  К. Подставляя в уравнение Гиббса, находим

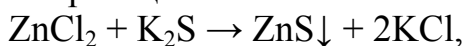
$$\Gamma = -(-6.25 \cdot 10^{-5} \text{ Дж} \cdot \text{м/моль}) \cdot \frac{75}{8.31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)} \cdot 293 \text{ К}} = 1.93 \cdot 10^{-6} \text{ моль/м}^2.$$

*Ответ.*  $1.93 \cdot 10^{-6}$  моль/м<sup>2</sup>.

**Пример 6.** Напишите формулу мицеллы золя, образовавшегося при смешении водных растворов хлорида цинка и сульфида калия, если а) в избытке взят раствор ZnCl<sub>2</sub>; б) в избытке взят раствор K<sub>2</sub>S. В каком направлении станут двигаться частицы при электрофорезе. Какие ионы обладают коагулирующей способностью в каждом из случаев?

*Решение*

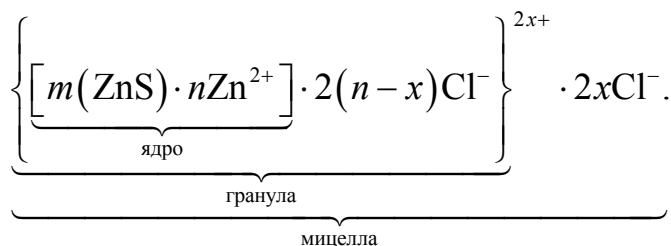
В растворе протекает реакция



приводящая к образованию золя сульфида цинка.

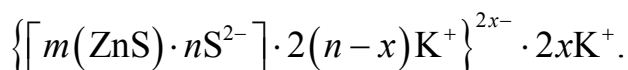
Ядро мицеллы будет представлено агрегатом из  $m$  молекул ZnS, на поверхности которых в соответствии с правилом Панета – Фаянса адсорбируются ионы, входящие в состав агрегата и находящиеся в избытке. Их называют *потенциалопределяющими* ионами. К адсорбированным потенциалопределяющим ионам электростатически притягиваются ионы противоположного знака (*противоионы*), также находящиеся в растворе в избытке. Так возникает двойной электрический слой, внутренняя обкладка которого образована поверхностью твердого фазы, а внешняя – жидкой средой. Из-за теплового движения заряд внешней обкладки будет «размазан» в приповерхностном слое жидкой фазы, а не полностью локализован в плотной (адсорбционной) части двойного слоя.

Исходя из вышесказанного, строение мицеллы в случае избытка хлорида цинка можно изобразить следующим образом:



В целом мицелла электронейтральна, а коллоидная частица имеет положительный заряд, и при электрофорезе под действием электрического поля она будет перемещаться в сторону отрицательного электрода – катода. Согласно правилу Шульце – Гарди, коагулирующей способностью обладают ионы, имеющие заряд, противоположный заряду гранулы, и химически не взаимодействующие с веществом, образующим золь. В данном случае гранула заряжена положительно, поэтому коагулирующим действием должны выступить анионы.

В случае избытка сульфида калия формула мицеллы записывается как



Коллоидная частица отрицательно заряжена и перемещается к аноду. Коагулирующим агентом выступают катионы.

**Пример 7.** Для коагуляции 100 мл золя иодида серебра требуется 15 мл 1 М раствора хлорида калия, 5 мл 0.1 М раствора хлорида кальция или 2 мл 0.01 М раствора хлорида железа. Определите пороги коагуляции золя для каждого из электролитов и величину его коагулирующей способности. Какой заряд имеет гранула золя?

*Решение*

Порог коагуляции золя рассчитывается по формуле:

$$c_{\text{нор.}} = \frac{c_{\text{эл-та}} \cdot V_{\text{эл-та}}}{V_{\text{золя}}}, \text{ моль/л.}$$

Тогда  $c_{\text{нор.}}(\text{KCl}) = \frac{1 \text{ моль/л} \cdot 15 \text{ мл}}{100 \text{ мл}} = 0.15 \text{ моль/л};$

$$c_{\text{нор.}}(\text{CaCl}_2) = \frac{0.1 \text{ моль/л} \cdot 5 \text{ мл}}{100 \text{ мл}} = 0.005 \text{ моль/л};$$

$$c_{\text{нор.}}(\text{FeCl}_3) = \frac{0.01 \text{ моль/л} \cdot 2 \text{ мл}}{100 \text{ мл}} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л.}$$

Для определения коагулирующей способности каждого из электролитов необходимо выразить концентрацию  $c_{\text{нор.}}$  в г-экв/л. Для этого порог коагуляции, выраженный в моль/л, нужно умножить на заряд катиона и на количество катионов, образующихся при диссоциации молекулы электролита. Тогда пороги коагуляции KCl, CaCl<sub>2</sub> и FeCl<sub>3</sub> будут соответственно равны 0.15; 1·10<sup>-2</sup> и 6·10<sup>-4</sup> г-экв.

Коагулирующая способность  $V = 1/c_{\text{нор.}}$ . Отсюда

$$V(\text{KCl}) = 1/0.15 = 6.67 \text{ л/моль};$$

$$V(\text{CaCl}_2) = 1/0.01 = 100 \text{ л/моль};$$

$$V(\text{FeCl}_3) = 1/0.0006 = 1666.7 \text{ л/моль}.$$

Так как анионы у выбранных солей одинаковы, различие в порогах коагуляции может быть связано только с коагулирующей способностью катионов. Следовательно, гранулы золя заряжены отрицательно.

### Задачи

- 4-1. Какие физико-химические явления называют поверхностными?
- 4-2. Какова причина возникновения избыточной поверхностной энергии?
- 4-3. Что называется поверхностным натяжением жидкости? От чего зависит поверхностное натяжение? В каких единицах оно измеряется?
- 4-4. Какие явления связаны с уменьшением величины межфазной поверхности? Почему уменьшение межфазной поверхности является самопроизвольным процессом?
- 4-5. Каковы термодинамические причины адсорбции веществ? Является ли данный процесс самопроизвольным?
- 4-6. Какие вещества называют поверхностно-активными и поверхностно-инактивными? Приведите примеры.
- 4-7. Каковы особенности молекулярного строения поверхностно-активных веществ? Как зависит поверхностное натяжение от концентрации поверхностно-активных веществ в растворе?
- 4-8. В чем состоят особенности адсорбции газов и паров на твердой поверхности? Чем отличается физическая адсорбция от хемосорбции?
- 4-9. Запишите основное уравнение теории мономолекулярной адсорбции Ленгмюра. Объясните смысл входящих в него величин. Укажите условия применимости.
- 4-10. Объясните сущность процесса капиллярной конденсации. Какое практическое значение она имеет?
- 4-11 – 4-20. **Многовариантная задача.** При дроблении  $m$  г металла плотностью  $\rho$  получены частицы кубической формы с длиной ребра  $l$  см. Определите количество образовавшихся частиц и их суммарную поверхность.

№ п/п	Металл	$m$ , г	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$l$ , см
4-11	Ag	0.1	10.5	$4 \cdot 10^{-6}$
4-12	Al	5.0	2.70	$2 \cdot 10^{-5}$

№ п/п	Металл	$m$ , г	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$l$ , см
4-13	Au	1.0	19.3	$1 \cdot 10^{-7}$
4-14	Cd	2.0	8.64	$2 \cdot 10^{-7}$
4-15	Co	0.5	8.85	$1 \cdot 10^{-7}$
4-16	Cu	2.0	8.92	$5 \cdot 10^{-6}$
4-17	Fe	3.0	7.86	$3 \cdot 10^{-6}$
4-18	Ni	4.0	8.90	$1 \cdot 10^{-5}$
4-19	Pt	2.0	21.45	$1 \cdot 10^{-6}$
4-20	Zn	4.5	7.14	$2 \cdot 10^{-7}$

**4-21 – 4-30. Многовариантная задача.** Капля жидкости в виде шара объемом  $V$  подверглась дроблению в воздухе на  $N$  одинаковых капелек шарообразной формы. Какая термодинамически обратимая, изотермическая работа совершена, если поверхностное натяжение жидкости при данной температуре равно  $\sigma$ ? Чем объяснить самопроизвольное слияние малых капель в каплю бóльших размеров?

№ п/п	Жидкость	$V$ , мл	$N$	$\sigma$ , мДж/м <sup>2</sup>
4-21	H <sub>2</sub> O	0.25	$1 \cdot 10^3$	72.04
4-22	H <sub>2</sub> O	0.20	$8 \cdot 10^2$	72.04
4-23	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	0.85	$3 \cdot 10^3$	28.18
4-24	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	0.60	$2 \cdot 10^3$	28.18
4-25	CH <sub>3</sub> COOH	1.00	$5 \cdot 10^3$	27.3
4-26	CH <sub>3</sub> COOH	0.75	$2 \cdot 10^3$	27.3
4-27	Ga	0.20	$1 \cdot 10^3$	706
4-28	Ga	0.50	$2 \cdot 10^3$	706
4-29	Hg	0.80	$6 \cdot 10^3$	465
4-30	Hg	1.20	$8 \cdot 10^3$	465

**4-31 – 4-40. Многовариантная задача.** При комнатной температуре термодинамически обратимая, изотермическая работа, затрачиваемая на деление водяной капли надвое, равна  $A$ . Капля имеет радиус  $R$  и помещена в органическую жидкость. Рассчитайте поверхностное натяжение воды, граничащей с органической жидкостью. Чем можно объяснить, что поверхностное натяжение воды на границе с воздухом значительно выше (около 73 мДж/м<sup>2</sup>)?

№ п/п	Органическая жидкость	$R$ , мм	$A$ , Дж
4-31	Анилин C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> NH <sub>2</sub>	3	$-1.41 \cdot 10^{-7}$
4-32	Бензол C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	3	$-1.00 \cdot 10^{-6}$
4-33	Бензилацетат C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>2</sub> OCOCH <sub>3</sub>	2	$-1.97 \cdot 10^{-7}$
4-34	Гексан C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	1.5	$-3.76 \cdot 10^{-7}$

№ п/п	Органическая жидкость	$R$ , мм	$A$ , Дж
4-35	Гептан $C_7H_{16}$	1.5	$-3.74 \cdot 10^{-7}$
4-36	Октан $C_8H_{18}$	2	$-6.66 \cdot 10^{-7}$
4-37	Декал $C_{10}H_{22}$	3	$-1.51 \cdot 10^{-6}$
4-38	Толуол $C_6H_5CH_3$	4	$-1.87 \cdot 10^{-6}$
4-39	Нитробензол $C_6H_5NO_3$	2.5	$-5.21 \cdot 10^{-7}$
4-40	Тетрахлорметан $CCl_4$	2.5	$-8.86 \cdot 10^{-7}$

**4-41 – 4-50. Многовариантная задача.** Определите тип поверхностной активности растворенного в воде вещества по данным поверхностных натяжений  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  растворов при концентрациях  $\omega_1$  и  $\omega_2$ .

№ п/п	Растворенное вещество	$\omega_1$ , масс.%	$\sigma_1$ , мДж/м <sup>2</sup>	$\omega_2$ , масс.%	$\sigma_2$ , мДж/м <sup>2</sup>
4-41	$AgNO_3$	5	73.8	10	74.3
4-42	$Ca(NO_3)_2$	5	73.35	15	75.32
4-43	$FeSO_4$	5	73.3	15	74.7
4-44	$H_2O_2$	5	73.15	10	73.3
4-45	KCl	10	74.75	20	77.25
4-46	$KNO_2$	0	72.75	10	74.35
4-47	$Mg(NO_3)_2$	5	73.5	10	74.6
4-48	$NH_4Cl$	5	73.3	10	74.5
4-49	NaBr	0	72.75	5	73.60
4-50	NaOH	0	72.75	10	77.3

**4-51 – 4-60. Многовариантная задача.** Найдите величину адсорбции вещества на границе раствора и воздуха при концентрации  $c_1$  по данным поверхностных натяжений растворов при  $c_1$  и  $c_2$  и указанной температуре. Какой тип поверхностной активности характерен для растворенного вещества?

№ п/п	Растворенное вещество	$c_1$ , моль/л	$\sigma_1$ , мДж/м <sup>2</sup>	$c_2$ , моль/л	$\sigma_2$ , мДж/м <sup>2</sup>
4-51	1-Пропанол	0.0312	68.9	0.0625	66.8
4-52	Бутанол	0.0312	66.0	0.0625	61.5
4-53	Гептанол	0.05	62.96	0.06	62.0
4-54	Уксусная кислота	0.0625	70.0	0.125	68.9
4-55	Пропионовая кислота	0.0312	69.5	0.0625	67.7
4-56	Изомасляная кислота	0.125	55.1	0.250	49.7

№ п/п	Растворенное вещество	$c_1$ , моль/л	$\sigma_1$ , мДж/м <sup>2</sup>	$c_2$ , моль/л	$\sigma_2$ , мДж/м <sup>2</sup>
4-57	Валериановая кислота	0.0078	67.0	0.0156	62.8
4-58	Изовалериановая кислота	0.125	43.2	0.250	35.0
4-59	Капроновая кислота	0.02	49.59	0.025	46.33
4-60	Метилэтилкетон	1.39	41.6	2.77	32.2

**4-61 – 4-70. Многовариантная задача.** По наклону концентрационной зависимости поверхностного натяжения водного раствора ( $d\sigma/dc$ ) рассчитайте величину адсорбции  $\Gamma$  органического вещества на границе раствор–воздух, если соответствующая концентрация этого вещества в объеме раствора равна  $c$ , а температура раствора  $t$ . Какая особенность строения молекулы органического вещества определяет в данном случае положительную избыточную адсорбцию?

№ п/п	Вещество	$t$ , °C	$c$ , моль/л	$d\sigma/dc$ , Дж·м/моль
4-61	Метилэтилкетон $\text{CH}_3\text{—CO—C}_2\text{H}_5$	19	0.05	$-7.45 \cdot 10^{-5}$
4-62			0.10	$-5.30 \cdot 10^{-5}$
4-63			0.15	$-4.10 \cdot 10^{-5}$
4-64			0.25	$-3.25 \cdot 10^{-5}$
4-65			0.35	$-2.85 \cdot 10^{-5}$
4-66	Изомасляная кислота $(\text{CH}_3)_2\text{CH—COOH}$	15	0.05	$-1.50 \cdot 10^{-4}$
4-67			0.10	$-9.40 \cdot 10^{-5}$
4-68			0.15	$-6.85 \cdot 10^{-5}$
4-69			0.25	$-4.25 \cdot 10^{-5}$
4-70			0.35	$-3.25 \cdot 10^{-5}$

- 4-71. Дайте краткое описание способов получения лиофобных коллоидных растворов. Какие условия должны соблюдаться при получении коллоидных растворов химической конденсацией?
- 4-72. Дайте краткое описание методов очистки дисперсных систем.
- 4-73. Какие оптические явления наблюдаются при падении света на: а) водный раствор хлорида натрия; б) коллоидный раствор хлорида серебра; в) водный раствор диэтилового (медицинского) эфира? В каком случае возможно наблюдение опалесценции?
- 4-74. Дайте краткое описание путей образования двойного электрического слоя применительно к гидрозолям разной природы.



- 4-75. Явление электрофореза много лет используется в медицине для введения лекарственных средств в организм человека. Поясните суть этого явления.
- 4-76. В чем состоит сущность броуновского движения, диффузии и осмоса в коллоидных растворах?
- 4-77. В чем состоят различия между молекулярно-кинетическими свойствами коллоидных и истинных растворов?
- 4-78. Являются ли лиофобные дисперсные системы термодинамически устойчивыми? Седиментационно устойчивыми? Какие факторы способны обеспечить агрегативную устойчивость лиофобных зольей?
- 4-79. Дайте краткое описание способов повышения агрегативной устойчивости (защиты) коллоидных частиц. В чем состоит сущность и практическое значение явления седиментации.
- 4-80. Поясните явление коагуляции на основе потенциальных кривых взаимодействия между коллоидными частицами.
- 4-81. Как известно, характерной особенностью строения молекул ПАВ является их дифильность. Поясните это понятие. Приведите примеры.
- 4-82. Поясните сущность понятий «поверхностно-активные вещества» и «коллоидные поверхностно-активные вещества». В чем состоит отличие молекулярной структуры обычных ПАВ от коллоидных ПАВ?
- 4-83. Что называется поверхностной активностью вещества. В чем состоит смысл правила Дюкло – Траубе?
- 4-84. Как образуется мицелла лиофильного золья из дифильных молекул ПАВ? Можно ли назвать этот процесс самопроизвольным? Ответ поясните.
- 4-85. Поясните смысл терминов «солюбилизация», «солюбилизат», «солюбилизатор». Как может использоваться явление солюбилизации в фармацевтической промышленности?
- 4-86. На каком принципе основано моющее действие коллоидных ПАВ? Ответ поясните.
- 4-87. На каком принципе основано стабилизирующее действие ПАВ для суспензий, эмульсий, пен, порошков? Ответ поясните.
- 4-88. Поясните смысл понятия «критическая концентрация мицеллообразования». Какие факторы влияют на эту величину?
- 4-89. В чем состоит сходство и различие между растворами низкомолекулярных соединений и высокомолекулярных соединений? Между растворами ВМС и лиофобными коллоидными растворами?

- 4-90. Какие эмульсии называются прямыми, а какие – обратными? Почему лекарственные препараты предназначенные для наружного применения, готовят в виде обратных эмульсий, а принимаемые внутрь – в виде прямых эмульсий?
- 4-91. Каково строение мицеллы золя иодида серебра, полученного добавлением 40 мл раствора  $\text{AgNO}_3$  с концентрацией 0.004 моль/л к 30 мл раствора иодида калия с концентрацией 0.006 моль/л?
- 4-92. Золь сульфата свинца получен смешением равных объемов 0.01 М раствора  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  и 0.02%-го раствора  $\text{K}_2\text{SO}_4$  ( $\rho = 1 \text{ г/см}^3$ )
- 4-93. Золь иодида серебра получен в результате добавления к 20 мл раствора  $\text{KI}$  ( $c_{\text{KI}} = 0.01$  моль/л) 1 мл раствора нитрата серебра с концентрацией 0.005 моль/л. Напишите формулу мицеллы полученного золя.
- 4-94. Золь гидроксида железа (III) получен при добавлении к 85 мл 0.1%-го раствора  $\text{KOH}$  15 мл 2%-го раствора хлорида железа ( $\rho = 1 \text{ г/см}^3$ ). Запишите формулу мицеллы образовавшегося золя.
- 4-95. Какой минимальный объем 0.005 М раствора нитрата серебра надо прибавить к 20 мл 0.01 М раствора иодида калия, чтобы получить золь с положительно заряженными гранулами? Напишите формулу мицеллы.
- 4-96. Какой минимальный объем сульфида аммония с концентрацией 0.01 моль/л следует прибавить к 15 мл раствора хлорида марганца (II) ( $c = 0.03$  моль/л), чтобы получить золь с отрицательно заряженными частицами?
- 4-97. Смешали равные объемы 5%-х растворов  $\text{BaCl}_2$  и  $\text{H}_2\text{SO}_4$  плотностью 1 г/см<sup>3</sup>. Напишите формулу мицеллы образовавшегося золя сульфата бария.
- 4-98. Какой минимальный объем раствора нитрата серебра с концентрацией 0.001 моль/л следует добавить к 10 мл раствора хлорида натрия с концентрацией 0.002 моль/л, чтобы получить золь, гранулы которого заряжены положительно? Составьте формулу мицеллы.
- 4-99. Какой минимальный объем 0.001 М раствора  $\text{FeCl}_3$  надо добавить к 30 мл 0.002 М раствора  $\text{AgNO}_3$ , чтобы получить золь хлорида серебра, гранулы которого заряжены отрицательно? Напишите формулу мицеллы.
- 4-100. Золь  $\text{AgI}$  получен при добавлении 8 мл водного раствора  $\text{KI}$  с концентрацией 0.05 моль/л к 10 мл водного раствора  $\text{AgNO}_3$  с концентрацией 0.02 моль/л. Напишите формулу мицеллы образовавшегося золя. Как заряжена гранула золя?

**4-101 – 4.110. Многовариантная задача.** Напишите формулы мицелл коллоидных растворов, образующихся после смешения растворов веществ **A** и **B**, если: а) раствор вещества **A** взят в избытке; б) раствор вещества **B** взят в избытке. В каком направлении станут двигаться частицы при электрофорезе?

№ п/п	Вещество <b>A</b>	Вещество <b>B</b>
4-101	ZnBr <sub>2</sub>	KOH
4-102	CuSO <sub>4</sub>	NaOH
4-103	CoCl <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>
4-104	CuSO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> S
4-105	Zn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>
4-106	PbCl <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
4-107	BaCl <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>
4-108	CaCl <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
4-109	NiSO <sub>4</sub>	NaOH
4-110	Ba(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>

- 4-111.** Пороги коагуляции золя гидроксида железа (III) сульфатом натрия и хлоридом натрия соответственно равны 0.32 ммоль/л и 20.5 ммоль/л. Определите знак заряда коллоидных частиц золя. Вычислите величины коагулирующей способности этих электролитов. Выполняется ли правило Шульце – Гарди.
- 4-112.** К трем пробам по 10 мл золя гидроксида железа (III) для коагуляции добавлено соответственно 5.3 мл 0.2 М раствора хлорида натрия; 6.2 мл 0.01 М раствора сульфата натрия и 3.7 мл 0.001 М раствора фосфата натрия. Вычислите пороги коагуляции каждым электролитом и определите заряд гранулы.
- 4-113.** Для коагуляции 10 мл гидроксида железа (III) в каждом случае было добавлено 1.05 мл 1 М раствора KCl; 6.25 мл 0.005 М раствора K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и 3.7 мл 0.0003 М раствора K<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>. Определите заряд частиц золя и пороги коагуляции каждым электролитом.
- 4-114.** К 10 мл золя иодида серебра для коагуляции необходимо добавить 4 мл 0.4 М раствора хлорида калия, 1 мл 0.005 М раствора сульфата натрия или 4 мл 0.0002 М раствора фосфата натрия. Вычислите порог коагуляции золя каждым электролитом и определите знак заряда частиц золя.
- 4-115.** Чтобы вызвать коагуляцию 10 мл золя сульфида мышьяка (III), потребовалось в каждом случае прилить 0.25 мл 2 М раствора хлорида натрия, 1.3 мл 0.005 М раствора хлорида кальция и 2.76 мл 0.00033 М раствора хлорида алюминия. Какой заряд имеют частицы золя? Чему равен порог коагуляции каждым электролитом?

- 4-116.** Для того чтобы вызвать коагуляцию золя гидроксида железа, необходимо к 100 мл золя прибавить 10.5 мл 1 М раствора NaCl, 62.5 мл 0.005 М раствора Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> или 37 мл 0.00033 М раствора Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>. Вычислите порог коагуляции золя каждым электролитом и определите заряд коллоидных частиц.
- 4-117.** Чтобы вызвать коагуляцию 10 мл золя сульфида мышьяка (III), в каждом случае потребовалось прилить 7.6 мл 2 М раствора NaCl, 11.5 мл 0.005 М раствора Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и 1.82 мл 0.0005 М раствора K<sub>3</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>]. Какой заряд имеют частицы золя? Чему равен порог коагуляции каждым электролитом?
- 4-118.** Коагуляция 10 мл золя гидроксида железа (III) наступила при добавлении 3.2 мл 0.005 М раствора сульфата натрия. Вычислите порог коагуляции золя сульфат-ионами.
- 4-119.** Порог коагуляции гидроксида железа фосфат-ионами равен 0.37 ммоль/л. Какой объем 5%-го раствора фосфата натрия ( $\rho = 1.05 \text{ г/см}^3$ ) требуется для коагуляции 500 мл золя?
- 4-120.** Порог коагуляции золя сульфида золота ионами кальция равен 0.69 ммоль/л. Какой объем хлорида кальция с концентрацией 0.5 моль/л требуется для коагуляции 100 мл золя?

# ОТВЕТЫ

## Контрольная работа № 3

- 3-1. 1.0 моль/кг  
3-2. 0.585 моль/кг  
3-3. 0.30 моль/кг  
3-4. 0.32 моль/кг  
3-5. 0.15 моль/кг; 0.15 моль/кг  
3-6. 0.16 моль/кг  
3-7. 0.098 моль/кг  
3-8. 0.05 моль/кг  
3-9. 1.5 моль/кг  
3-10. 0.057 моль/кг  
3-11. 0.02 моль/кг  
3-12. 0.33 моль/кг  
3-13. 0.06 моль/кг  
3-14. 0.19 моль/кг  
3-15. 0.75 моль/кг  
3-16. 0.067 моль/кг  
3-17. 2.7 г  
3-18. 0.146 моль/кг  
3-19. 0.20 моль/кг; 0.067 моль/кг  
3-20. 0.20 моль/кг  
3-21. 0.095; 0.088;  $6.7 \cdot 10^{-4}$  моль/кг  
3-22. 0.079; 0.075;  $4.2 \cdot 10^{-4}$  моль/кг  
3-23. 0.064; 0.061;  $2.3 \cdot 10^{-4}$  моль/кг  
3-24. 0.048; 0.047;  $1.0 \cdot 10^{-4}$  моль/кг  
3-25. 0.100; 0.127;  $1.6 \cdot 10^{-2}$  моль/кг  
3-26. 0.090; 0.114;  $1.3 \cdot 10^{-2}$  моль/кг  
3-27. 0.080; 0.102;  $1.0 \cdot 10^{-2}$  моль/кг  
3-28. 0.070; 0.090;  $8.1 \cdot 10^{-3}$  моль/кг  
3-29. 0.011; 0.011;  $1.7 \cdot 10^{-8}$  моль/кг  
3-30. 0.032; 0.033;  $3.4 \cdot 10^{-5}$  моль/кг  
3-31. 0.016; 0.017;  $4.9 \cdot 10^{-6}$  моль/кг  
3-32. 0.009; 0.010;  $8.2 \cdot 10^{-9}$  моль/кг  
3-33. 0.014; 0.015;  $3.6 \cdot 10^{-6}$  моль/кг  
3-34. 0.005; 0.004;  $1.1 \cdot 10^{-12}$  моль/кг  
3-35. 0.002; 0.002;  $6.4 \cdot 10^{-9}$  моль/кг  
3-36. 0.013; 0.009;  $5.3 \cdot 10^{-11}$  моль/кг  
3-37. 0.003; 0.003;  $8.5 \cdot 10^{-6}$  моль/кг  
3-38. 0.013; 0.014;  $2.6 \cdot 10^{-6}$  моль/кг  
3-39. 0.011; 0.012;  $1.8 \cdot 10^{-6}$  моль/кг  
3-40. 0.009; 0.011;  $1.1 \cdot 10^{-6}$  моль/кг  
3-41.  $138.3 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$   
3-42.  $387.9 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$   
3-43.  $271.4 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$   
3-44.  $382.2 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$   
3-45.  $133.3 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$   
3-46. 0.115;  $1.5 \cdot 10^{-5}$  моль/л  
3-47.  $54.9 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$   
3-48.  $116.7 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$   
3-49.  $1.77 \cdot 10^{-5}$ ; 4.31  
3-50.  $5.56 \cdot 10^{-4}$  моль/л; 0.09;  
 $5.62 \cdot 10^{-3}$  моль/л;  $20.99 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$   
3-51.  $1.89 \cdot 10^{-4}$  моль/л  
3-52. 0.155;  $4.55 \cdot 10^{-4}$  моль/л  
3-53. 0.037;  $1.4 \cdot 10^{-5}$  моль/л  
3-54. 0.108;  $6.73 \cdot 10^{-5}$  моль/л  
3-55. 0.177 моль/л;  $2.72 \cdot \text{Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$   
3-56. 0.125;  $1.22 \cdot 10^{-4}$  моль/л;  
 $330.4 \cdot \text{Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$   
3-57.  $387.9 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$   
3-58.  $1.64 \cdot 10^{-2}$  моль/л  
3-59.  $8.19 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}^{-1} / \text{см}^{-1}$ ;  
 $81.35 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$   
3-60.  $424.2 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$   
3-61. 0.067 моль/л  
3-62. 0.076 моль/л  
3-63. 0.102 моль/л  
3-64. 0.059 моль/л  
3-65. 0.062 моль/л  
3-66. 0.058 моль/л  
3-67. 0.081 моль/л  
3-68. 0.083 моль/л  
3-69. 0.071 моль/л  
3-70. 0.100 моль/л  
3-71. 0.064 моль/л  
3-72. 0.120 моль/л  
3-73. 0.080 моль/л  
3-74. 0.084 моль/л  
3-75. 0.087 моль/л  
3-76. 0.098 моль/л  
3-77. 0.095 моль/л  
3-78. 0.056 моль/л  
3-79. 0.045 моль/л  
3-80. 0.072 моль/л  
3-81. 19.06 ммоль/л / 19.03 ммоль/л (0.16 %)  
3-82. 21.18 ммоль/л / 21.14 ммоль/л (0.19 %)  
3-83. 21.35 ммоль/л / 21.32 ммоль/л (0.14 %)  
3-84. 14.26 ммоль/л / 13.91 ммоль/л (2.5 %)  
3-85. 20.11 ммоль/л / 19.86 ммоль/л (1.2 %)  
3-86. 18.81 ммоль/л / 18.66 ммоль/л (0.80 %)  
3-87. 22.49 ммоль/л / 22.39 ммоль/л (0.44 %)  
3-88. 18.58 ммоль/л / 18.47 ммоль/л (0.59 %)  
3-89. 19.52 ммоль/л / 19.33 ммоль/л (0.97 %)

<b>3-90.</b>	23.32 ммоль/л / 22.74 ммоль/л (2.5 %)	<b>3-100.</b>	7.25
<b>3-91.</b>	1.75	<b>3-101.</b>	1.41
<b>3-92.</b>	5.24	<b>3-102.</b>	1.42
<b>3-93.</b>	1.44	<b>3-103.</b>	6.95
<b>3-94.</b>	4.08	<b>3-104.</b>	3.74
<b>3-95.</b>	6.13	<b>3-105.</b>	3.93
<b>3-96.</b>	3.42	<b>3-106.</b>	3.84
<b>3-97.</b>	2.81	<b>3-107.</b>	2.22
<b>3-98.</b>	6.10	<b>3-108.</b>	7.28
<b>3-99.</b>	7.18	<b>3-109.</b>	9.47
		<b>3-110.</b>	1.49

#### Контрольная работа № 4

<b>4-11.</b>	$1.49 \cdot 10^{14}$ ; $1.43 \text{ м}^2$	<b>4-39.</b>	$25.5 \text{ мДж/м}^2$
<b>4-12.</b>	$2.31 \cdot 10^{14}$ ; $55.6 \text{ м}^2$	<b>4-40.</b>	$43.4 \text{ мДж/м}^2$
<b>4-13.</b>	$5.18 \cdot 10^{19}$ ; $311 \text{ м}^2$	<b>4-61.</b>	$1.55 \cdot 10^{-6} \text{ моль/м}^2$
<b>4-14.</b>	$2.89 \cdot 10^{19}$ ; $694 \text{ м}^2$	<b>4-62.</b>	$2.20 \cdot 10^{-6} \text{ моль/м}^2$
<b>4-15.</b>	$5.65 \cdot 10^{19}$ ; $339 \text{ м}^2$	<b>4-63.</b>	$2.55 \cdot 10^{-6} \text{ моль/м}^2$
<b>4-16.</b>	$1.79 \cdot 10^{15}$ ; $26.9 \text{ м}^2$	<b>4-64.</b>	$3.35 \cdot 10^{-6} \text{ моль/м}^2$
<b>4-17.</b>	$1.41 \cdot 10^{16}$ ; $76.3 \text{ м}^2$	<b>4-65.</b>	$4.10 \cdot 10^{-6} \text{ моль/м}^2$
<b>4-18.</b>	$4.49 \cdot 10^{14}$ ; $27.0 \text{ м}^2$	<b>4-66.</b>	$3.15 \cdot 10^{-6} \text{ моль/м}^2$
<b>4-19.</b>	$9.32 \cdot 10^{16}$ ; $55.9 \text{ м}^2$	<b>4-67.</b>	$3.95 \cdot 10^{-6} \text{ моль/м}^2$
<b>4-20.</b>	$7.88 \cdot 10^{19}$ ; $1891 \text{ м}^2$	<b>4-68.</b>	$4.30 \cdot 10^{-6} \text{ моль/м}^2$
<b>4-21.</b>	$-1.24 \cdot 10^{-4} \text{ Дж}$	<b>4-69.</b>	$4.45 \cdot 10^{-6} \text{ моль/м}^2$
<b>4-22.</b>	$-0.99 \cdot 10^{-4} \text{ Дж}$	<b>4-70.</b>	$4.75 \cdot 10^{-6} \text{ моль/м}^2$
<b>4-23.</b>	$-1.64 \cdot 10^{-4} \text{ Дж}$	<b>4-111.</b>	1.563 л/ммоль; 0.049 л/ммоль
<b>4-24.</b>	$-1.12 \cdot 10^{-4} \text{ Дж}$	<b>4-112.</b>	0.106 моль/л; 0.0062 моль/л; $3.7 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л}$
<b>4-25.</b>	$-2.13 \cdot 10^{-4} \text{ Дж}$	<b>4-113.</b>	0.105 моль/л; 0.0031 моль/л; $1.1 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л}$
<b>4-26.</b>	$-1.26 \cdot 10^{-4} \text{ Дж}$	<b>4-114.</b>	0.160 моль/л; 0.0005 моль/л; $8.0 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л}$
<b>4-27.</b>	$-1.05 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}$	<b>4-115.</b>	0.05 моль/л; 0.0006 моль/л; $9.1 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л}$
<b>4-28.</b>	$-2.49 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}$	<b>4-116.</b>	0.105 моль/л; 0.0031 моль/л; $1.22 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л}$
<b>4-29.</b>	$-3.33 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}$	<b>4-117.</b>	1.52 моль/л; 0.0058 моль/л; $9.1 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л}$
<b>4-30.</b>	$-4.82 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}$	<b>4-118.</b>	0.0016 моль/л
<b>4-31.</b>	$4.8 \text{ мДж/м}^2$	<b>4-119.</b>	578 мл
<b>4-32.</b>	$34.1 \text{ мДж/м}^2$	<b>4-120.</b>	0.138 мл
<b>4-33.</b>	$15.1 \text{ мДж/м}^2$		
<b>4-34.</b>	$51.1 \text{ мДж/м}^2$		
<b>4-35.</b>	$50.9 \text{ мДж/м}^2$		
<b>4-36.</b>	$51.0 \text{ мДж/м}^2$		
<b>4-37.</b>	$51.3 \text{ мДж/м}^2$		
<b>4-38.</b>	$35.7 \text{ мДж/м}^2$		

*Учебное издание*

ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ  
И КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ  
ПО ФИЗИЧЕСКОЙ И КОЛЛОИДНОЙ ХИМИИ

Часть 2

Учебно-методическое пособие для вузов

Составители:

**Кондрашин Владимир Юрьевич,**  
**Долгих Ольга Валериевна**

Редактор Валынкина И.Г.

Подписано в печать 05.10.2009. Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 2,2.  
Тираж 150 экз. Заказ 1501.

Издательско-полиграфический центр  
Воронежского государственного университета.  
394000, г. Воронеж, пл. им. Ленина, 10. Тел. (факс) +7 (4732) 598-026  
<http://www.ppc.vsu.ru>; e-mail: [pp\\_center@ppc.vsu.ru](mailto:pp_center@ppc.vsu.ru)

Отпечатано в типографии Издательско-полиграфического центра  
Воронежского государственного университета.  
394000, г. Воронеж, ул. Пушкинская, 3