

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

А. К. Болвако, Г. П. Дудчик

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

**ПОСОБИЕ
ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ
В СИСТЕМЕ ДИСТАНЦИОННОГО
ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ СТУДЕНТОВ
ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ**



Минск 2017

УДК 544(075.8)
ББК 24.5я73
Б79

Рассмотрено и рекомендовано редакционно-издательским советом Белорусского государственного технологического университета

Р е ц е н з е н т ы :

заведующая кафедрой аналитической химии
УО «Белорусский государственный
технологический университет»
кандидат химических наук, доцент *Н. А. Коваленко*;
доцент кафедры химии
УО «Белорусский государственный
аграрный технический университет»
кандидат химических наук, доцент *С. В. Слонская*

Болвако, А. К.

Б79 Физическая химия : пособие для самостоятельной работы в системе дистанционного обучения для студентов химико-технологических специальностей / А. К. Болвако, Г. П. Дудчик. – Минск : БГТУ, 2017. – 66 с.

Пособие содержит более 200 вопросов и 15 многовариантных задач по разделам «Электропроводность растворов электролитов», «Равновесная электрохимия» и «Химическая кинетика» курса «Физическая химия» и может использоваться для работы в системе дистанционного обучения БГТУ, а также для контролируемой самостоятельной работы студентов химико-технологических и инженерно-технических специальностей очной и заочной форм обучения.

УДК 544(075.8)
ББК 24.5я73

© УО «Белорусский государственный
технологический университет», 2017
© Болвако А. К., Дудчик Г. П., 2017



Предлагаемое пособие охватывает материал трех разделов физической химии – «Электропроводность растворов электролитов», «Равновесная электрохимия и ЭДС гальванических элементов», «Химическая кинетика» – и предназначено для студентов химико-технологических и инженерно-технических специальностей очной и заочной форм обучения.

По своему содержанию, глубине и широте изучаемых вопросов физическая химия является одной из самых сложных фундаментальных дисциплин, изучаемых в технологических университетах. Необходимое условие ее успешного усвоения – оптимальная организация самостоятельной работы студентов и ее систематический текущий контроль в семестре. Цели самостоятельной работы студентов при изучении физической химии: активизация учебно-познавательной деятельности, формирование умений и навыков работы с учебной литературой, самостоятельного приобретения знаний, а также применения полученных знаний для решения практических задач.

Самостоятельная работа студентов, организация ее контроля и самоконтроля, научно-методическое обеспечение этого вида учебной деятельности на современном уровне развития высшей школы приобрели большое значение, и в перспективе их роль будет только возрастать. Будут развиваться и совершенствоваться современные подходы к организации самостоятельной работы студентов, в частности, с применением различных систем дистанционного обучения (СДО), в рамках которых контроль и самоконтроль самостоятельной работы приобретают более высокую степень эффективности и получают новые возможности для реализации общих целей в подготовке специалистов в области химической технологии.

Авторы пособия выражают надежду, что работа с предлагаемым учебным материалом с использованием СДО БГТУ будет не только полезной, но и достаточно привлекательной и интересной для тех студентов, которые захотят самостоятельно оценить уровень своих

знаний по физической химии или услышать оценку результативности своих учебных занятий со стороны преподавателя.

В пособии приведены задания различной степени сложности. Они могут быть успешно использованы студентами с разным уровнем подготовки. Все задания разделены на три уровня в соответствии с увеличением их сложности: уровень А – наиболее простой, не требующий вычислений; уровень Б – средний; уровень В – повышенный. Для большинства расчетных задач есть ссылки на примеры их решения и необходимую справочную литературу.

По различным разделам курса «Физическая химия» в рамках контролируемой самостоятельной работы студентов может быть предусмотрено выполнение в СДО БГТУ заданий, аналогичных приведенным в данном пособии. Проработка собранных в настоящем издании теоретических вопросов и расчетных задач будет во многом способствовать успешному выполнению тестового контроля в СДО.

Прежде чем приступить к выполнению заданий по определенной теме, следует ознакомиться с теоретическим материалом, рассмотренным на лекциях, а также в изданиях, приведенных в табл. 1.

Таблица 1

Литература для самостоятельной подготовки

Тема	Литература
Электропроводность растворов электролитов	[1], с. 170–189
Равновесная электрохимия	[1], с. 189–217; [2, 3]
Химическая кинетика	[1], с. 229–267; [4]

Для решения расчетных задач желательно использовать справочник [5] и его предыдущие выпуски, а также другую справочную литературу, например [6]. Основной теоретический материал по курсу содержится в учебном пособии [1]; в изданиях [2–4] приведены примеры решения типовых задач с пояснениями и комментариями.

Отдельные части программы курса «Физическая химия», которым соответствуют приведенные задания, представлены в начале каждой темы.

В настоящем издании использованы следующие обозначения:



справочные данные;



ссылки на примеры решения задач;



задания для выполнения в СДО БГТУ.



СДО БГТУ → Кафедра физической и коллоидной химии → Курсы «Физическая химия 3 курс» или «Физическая химия 4 курс (заочный факультет)» → Раздел «Тестовый самоконтроль» → Тест «Электропроводность».

Сильные и слабые электролиты. Константа диссоциации слабых электролитов, ее зависимость от различных факторов. Закон разведения Оствальда.

Особенности свойств растворов сильных электролитов. Активность, коэффициент активности, средний ионный коэффициент активности и их зависимость от концентрации растворов сильных электролитов. Ионная сила растворов. Основные понятия теории сильных электролитов Дебая – Гюккеля. Ионная атмосфера, радиус ионной атмосферы. Предельный закон Дебая – Гюккеля.

Удельная, молярная, эквивалентная электрическая проводимость. Зависимость электрической проводимости растворов слабых и сильных электролитов от концентрации и температуры. Предельная эквивалентная электрическая проводимость. Закон Кольрауша. Эмпирическое уравнение Кольрауша.

Применение измерений электропроводности для определения рН раствора, степени и константы диссоциации слабых электролитов, определения предельной эквивалентной электропроводности сильных электролитов, растворимости и произведения растворимости трудно-растворимых соединений.

Уровень А

A1. Электролитом называется:

- а) вещество, способное проводить электрический ток;
- б) раствор или расплав, способный проводить электрический ток;

в) вещество, которое в растворе или расплаве способно диссоциировать на ионы, вследствие чего растворы или расплавы этого вещества приобретают способность проводить ток;

г) проводник первого рода.

A2. Электролиты разделяют на:

а) сильные, средние и слабые;

б) сильные и средние;

в) средние и слабые;

г) сильные и слабые.

A3. Примерами сильных электролитов (в водных растворах) являются:

а) NaCl и CH₃COOH;

б) NaOH и KCl;

в) NH₄OH и CH₃COOH;

г) C₆H₆ и KCl.

A4. Примерами слабых электролитов (в водных растворах) являются:

а) CH₃COOH и NH₄OH;

б) C₆H₆ и KCl;

в) CH₃COOK и NH₄OH;

г) CH₃COOK и C₆H₆.

A5. Константа диссоциации слабого электролита зависит от:

а) природы электролита и его концентрации;

б) природы электролита и температуры;

в) концентрации электролита и природы растворителя;

г) температуры и концентрации электролита в растворе.

A6. Степень диссоциации слабого электролита в растворе может быть:

а) равна единице;

б) меньше единицы;

в) больше единицы;

г) положительной и отрицательной.

A7. Степень диссоциации α слабого электролита может изменяться в пределах:

а) $0 < \alpha < 0,99$;

б) $0 < \alpha < 1$;

в) $0 \leq \alpha \leq 1$;

г) $0 \leq \alpha < 1$.

A8. Степень диссоциации слабого электролита (α) ...

а) увеличивается с ростом концентрации электролита;

б) уменьшается с ростом концентрации электролита в растворе;

в) не зависит от концентрации электролита в растворе;

г) приближается к единице с ростом концентрации электролита в растворе.

A9. Закон разведения Оствальда для бинарного слабого электролита имеет следующий вид:

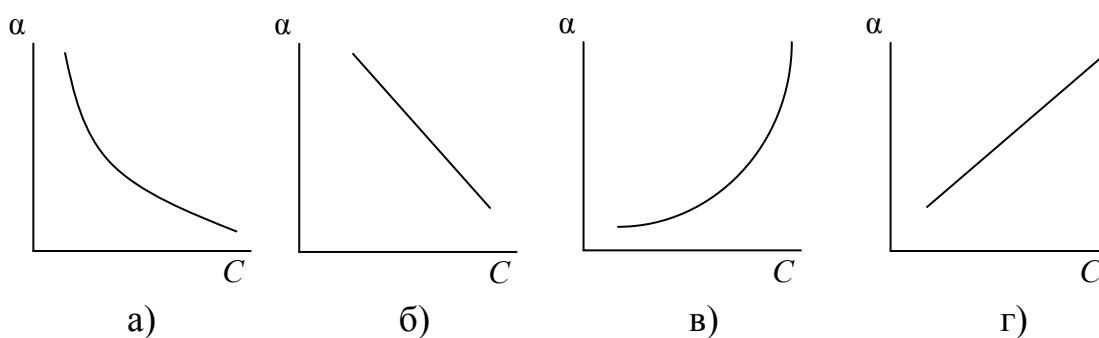
а) $a_{\pm} = \nu_{\pm} \cdot \gamma_{\pm} \cdot m$;

б) $K_d = C_0 \cdot \frac{\alpha^2}{1 - \alpha}$;

в) $\gamma_{\pm} = -A |z_+ z_-| \sqrt{I}$;

г) $\lambda_0 = \lambda_{0,+} + \lambda_{0,-}$.

A10. Зависимость степени диссоциации слабого электролита от его концентрации в растворе имеет вид:



A11. Выражение для расчета рН раствора кислоты, являющейся слабым электролитом, имеет вид:

а) $\text{pH} = -\lg C$;

б) $\text{pH} = -\lg \alpha$;

в) $\text{pH} = -\lg (\alpha C)$;

г) $\text{pH} = 14 - \lg C$.

A12. Водородный показатель раствора основания, являющегося слабым электролитом, можно рассчитать по уравнению:

а) $\text{pH} = -\lg \alpha$;

б) $\text{pH} = -\text{pOH} - \lg (\alpha C)$;

в) $\text{pH} = -\lg (\alpha C)$;

г) $\text{pH} = 14 + \lg (\alpha C)$.

A13. a_{\pm} – это ...

а) активность электролита;

б) средняя ионная активность электролита;

в) активность раствора электролита;

г) активность растворителя.

A14. γ_{\pm} – это ...

а) коэффициент активности;

б) средний ионный коэффициент активности;

- в) средняя ионная активность;
 г) средний ионный стехиометрический коэффициент.

A15. v_{\pm} – это ...

- а) активность;
 б) средний ионный коэффициент активности;
 в) средняя ионная активность;
 г) средний ионный стехиометрический коэффициент.

A16. Величину a_{\pm} можно рассчитать по формуле:

- а) $a_{\pm} = v_{\pm} \gamma_{\pm} m_{\pm}$;
 б) $a_{\pm} = \gamma_{\pm} m$;
 в) $a_{\pm} = v_{\pm} \gamma_{\pm} m$;
 г) $a_{\pm} = a_{+} a_{-}$.

A17. Средний ионный стехиометрический коэффициент (v_{\pm}) рассчитывают по формуле:

- а) $v_{\pm} = \left(v_{+}^{v_{+}} \cdot v_{-}^{v_{-}} \right)^{\frac{1}{v_{+}+v_{-}}}$;
 б) $v_{\pm} = \left(v_{+}^{v_{-}} \cdot v_{-}^{v_{+}} \right)^{\frac{1}{v_{+}+v_{-}}}$;
 в) $v_{\pm} = v_{+} + v_{-}$;
 г) $v_{\pm} = \left(v_{+} \cdot v_{-} \right)^{\frac{1}{v_{+}+v_{-}}}$.

A18. Предельный закон Дебая – Гюккеля имеет вид:

- а) $K_d = C_0 \frac{\alpha^2}{1 - \alpha}$;
 б) $\lg \gamma_{\pm} = -A |z_{+} z_{-}| \cdot \sqrt{I}$;
 в) $\lambda_0 = \lambda_{0,+} + \lambda_{0,-}$;
 г) $\lambda = \lambda_0 - B \sqrt{C}$.

A19. Величину рН раствора сильной кислоты рассчитывают по формуле:

- а) $\text{pH} = -\lg(\alpha C)$;
 б) $\text{pH} = -\lg C_{\text{H}^{+}}$;
 в) $\text{pH} = -\lg a_{\text{H}^{+}}$;
 г) $\text{pH} = -\lg m_{\pm}$.

A20. Произведение растворимости (ПР) и растворимость (S) сульфата бария связывает формула:

- а) $\text{ПР} = S^2$;
 б) $\text{ПР} = 2S^2$;
 в) $\text{ПР} = 4S^2$;
 г) $\text{ПР} = 6S^3$.

A21. Произведение растворимости (ПР) и растворимость (S) фосфата цинка ($Zn_3(PO_4)_2$) связывает формула:

- а) $ПР = 4S^3$;
- б) $ПР = S^2$;
- в) $ПР = 108S^5$;
- г) $ПР = 9S^4$.

A22. Произведение растворимости (ПР) и растворимость (S) гидроксида алюминия ($Al(OH)_3$) связывает формула:

- а) $ПР = 4S^3$;
- б) $ПР = S^2$;
- в) $ПР = 108S^5$;
- г) $ПР = 27S^4$.

A23. Произведение растворимости (ПР) и растворимость (S) хлорида серебра ($AgCl$) связывает формула:

- а) $ПР = 4S^3$;
- б) $ПР = S^2$;
- в) $ПР = 108S^5$;
- г) $ПР = 27S^4$.

A24. Удельную электропроводность раствора электролита (κ) измеряют в ...

- а) См;
- б) См/м;
- в) $См \cdot м^2 / моль$;
- г) $См \cdot м^2 / моль экв.$

A25. Эквивалентную электропроводность раствора электролита (λ) измеряют в ...

- а) См;
- б) См/м;
- в) $См \cdot м^2 / моль$;
- г) $См \cdot м^2 / моль экв.$

A26. Уравнение, связывающее удельную и эквивалентную электропроводности электролита, имеет вид (размерность C – моль экв/м³):

- а) $\kappa = \lambda / C$;
- б) $\kappa = \lambda C$;
- в) $\kappa = C / \lambda$;
- г) $\lambda = \kappa C$.

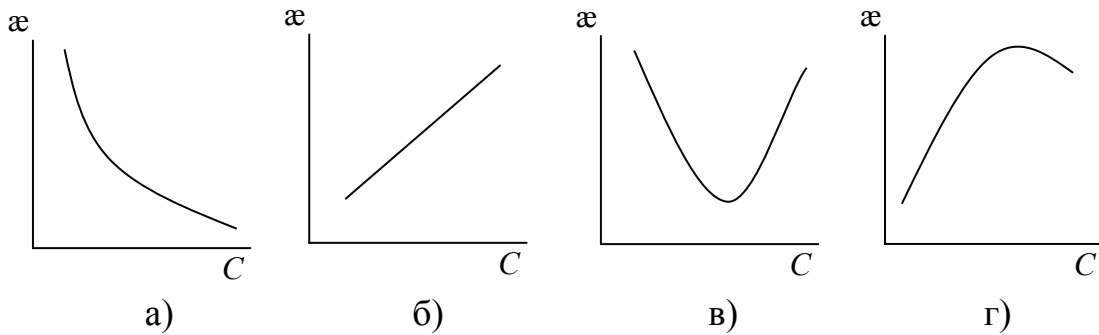
A27. Закон Кольрауша в математическом виде записывают следующим образом:

- а) $K_d = C_0 \frac{\alpha^2}{1 - \alpha}$;
- б) $\lambda_0 = \lambda_{0,+} + \lambda_{0,-}$;

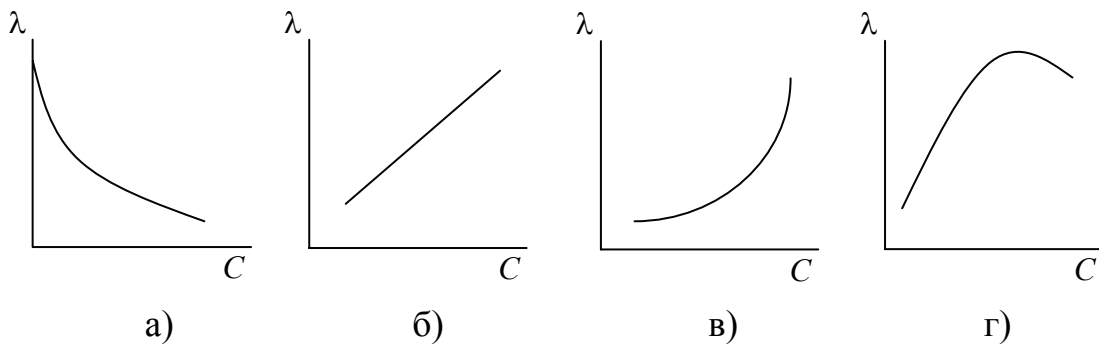
в) $\lg \gamma_{\pm} = -A|z_+z_-|\sqrt{I}$;

г) $\lambda = \lambda_0 - B \cdot \sqrt{C}$.

A28. Концентрационная зависимость удельной электропроводности раствора сильного электролита имеет вид:



A29. Зависимость эквивалентной электропроводности раствора сильного электролита от концентрации его раствора имеет вид:



A30. $\lambda_0 = \lambda_{0,+} + \lambda_{0,-}$ – это ...

- а) закон Кольрауша;
- б) эмпирическое уравнение Кольрауша;
- в) закон разведения Оствальда;
- г) предельный закон Дебая – Гюккеля.

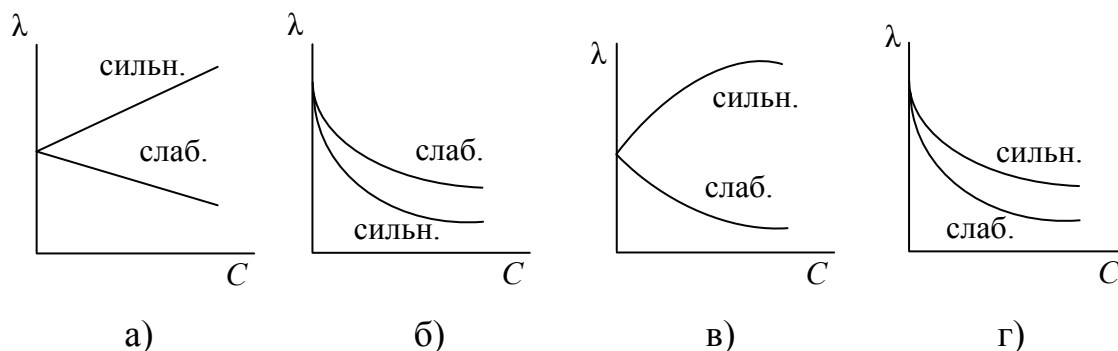
A31. f – это ...

- а) удельная электропроводность;
- б) коэффициент электропроводности сильного электролита;
- в) степень диссоциации слабого электролита;
- г) эквивалентная электропроводность.

A32. При уменьшении концентрации электролита в растворе удельная электропроводность раствора стремится к ...

- а) нулю;
- б) бесконечности;
- в) удельной электропроводности чистого растворителя;
- г) единице.

А33. Выберите рисунок, на котором правильно указаны концентрационные зависимости эквивалентной электропроводности λ для сильных и слабых электролитов:



А34. Эмпирическое уравнение Колярауша имеет вид:

а) $\lg \gamma_{\pm} = -A|z_+z_-|\sqrt{I}$;

б) $\lambda_0 = \lambda_{0,+} + \lambda_{0,-}$;

в) $\lambda = \lambda_0 - B\sqrt{C}$;

г) $K_d = C_0 \frac{\alpha^2}{1-\alpha}$.

А35. При увеличении температуры удельная (и эквивалентная) электропроводность раствора электролита ...

а) уменьшается;

б) увеличивается;

в) не изменяется;

г) сначала увеличивается, а потом уменьшается.

А36. Значения рН и рОН водных растворов связаны соотношением:

а) $\text{pH} = 14 + \text{pOH}$;

б) $\text{pH} - \text{pOH} = 14$;

в) $\text{pH} + \text{pOH} = 14$;

г) $\text{pH} + 14 = \text{pOH}$.

А37. С ростом концентрации раствора электролита его эквивалентная электропроводность ...

а) уменьшается;

б) увеличивается;

в) не изменяется;

г) стремится к единице.

А38. Величина ν_{\pm} электролита $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ составляет:

а) $\sqrt[5]{36}$;

б) $\sqrt[3]{4}$;

в) $\sqrt[5]{108}$;

г) $\sqrt[4]{27}$.

A39. Для электролита MgCl_2 величина ν_{\pm} равна:

а) 1;

б) $\sqrt[3]{4}$;

в) $\sqrt[5]{108}$;

г) 3.

A40. Величина ν_{\pm} электролита AlCl_3 составляет:

а) 4;

б) $\sqrt[3]{4}$;

в) $\sqrt[5]{108}$;

г) $\sqrt[4]{27}$.

A41. Ионная сила раствора КОН связана с его моляльной концентрацией соотношением:

а) $I = m$;

б) $I = 3m$;

в) $I = 5m$;

г) $I = 6m$.

A42. Средняя ионная активность электролита (a_{\pm}) связана с активностями его катиона и аниона в растворе соотношением:

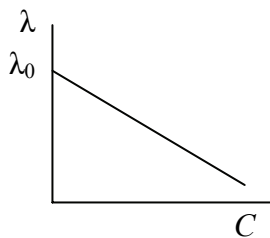
а) $a_{\pm} = a_{+} \cdot a_{-}$;

б) $a_{\pm} = a_{+} + a_{-}$;

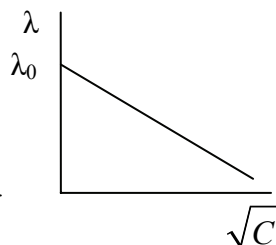
в) $a_{\pm} = (a_{+}^{\nu_{+}} a_{-}^{\nu_{-}})^{\frac{1}{\nu_{+} + \nu_{-}}}$;

г) $a_{\pm} = (a_{+} a_{-})^{\frac{1}{\nu_{+} + \nu_{-}}}$.

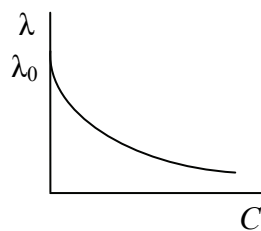
A43. Определение предельной эквивалентной электропроводности сильных электролитов осуществляется с использованием экспериментальной зависимости:



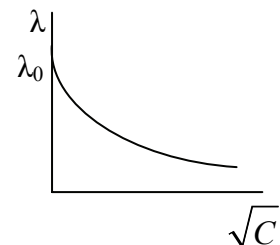
а)



б)



в)



г)

A44. Эмпирическое уравнение Кольрауша применяется для:

- а) сильных электролитов;
- б) слабых электролитов;
- в) как сильных, так и слабых электролитов;
- г) сильных электролитов в разбавленных растворах.

A45. Закон Кольрауша выполняется для:

- а) сильных электролитов;
- б) слабых электролитов;
- в) любых электролитов;
- г) сильных электролитов в разбавленных растворах.

A46. Закон разведения Оствальда выполняется для:

- а) сильных электролитов;
- б) слабых электролитов;
- в) любых электролитов;
- г) сильных электролитов в разбавленных растворах.

A47. Коэффициент электропроводности сильного электролита при увеличении концентрации раствора ...

- а) увеличивается;
- б) уменьшается;
- в) не изменяется;
- г) стремится к единице.

A48. Степень диссоциации слабого электролита с ростом концентрации его раствора ...

- а) увеличивается;
- б) не изменяется;
- в) уменьшается;
- г) стремится к единице.

A49. При увеличении концентрации раствора сильного электролита ...

- а) увеличивается его степень диссоциации;
- б) уменьшается его коэффициент электропроводности;
- в) увеличивается его коэффициент электропроводности;
- г) уменьшается его степень диссоциации.

A50. При увеличении ионной силы раствора величина среднего ионного коэффициента активности сильного электролита (при $I < 0,02$) ...

- а) увеличивается;
- б) уменьшается;
- в) не изменяется;
- г) сначала увеличивается, затем уменьшается.

Уровень Б

Б1. По данным о моляльной концентрации m и среднем ионном коэффициенте активности γ_{\pm} сильного электролита вычислите его среднюю ионную активность a_{\pm} и активность a (табл. 2).

Таблица 2

Исходные данные для задачи Б1

Вариант	Электролит	m , моль/кг H ₂ O	γ_{\pm}	Вариант	Электролит	m , моль/кг H ₂ O	γ_{\pm}
1	CaCl ₂	1,0	0,5	16	K ₃ Fe(CN) ₆	1,0	0,128
2	Sr(ClO ₄) ₂	5,0	10,09	17	K ₂ HAsO ₄	0,9	0,301
3	NaOH	10	3,46	18	Cr ₂ (SO ₄) ₃	0,3	0,0238
4	MgBr ₂	4,0	12	19	Th(NO ₃) ₄	4,5	0,722
5	Ca(NO ₃) ₂	2,0	0,347	20	Ba(ClO ₄) ₂	5,0	2,13
6	K ₂ SO ₄	6,0	1,99	21	Al ₂ (SO ₄) ₃	0,6	0,014
7	H ₂ SO ₄	0,05	0,340	22	SnCl ₂	0,005	0,624
8	HClO ₄	8,0	11,83	23	Na ₂ HPO ₄	0,8	0,217
9	MgI ₂	3,0	7,81	24	ZnI ₂	2,0	1,012
10	HCl	7,0	4,37	25	H ₂ SO ₄	10	0,559
11	AlCl ₃	0,5	0,331	26	Mg(NO ₃) ₂	2,0	0,350
12	LaCl ₃	1,5	0,515	27	LiBr	9,0	12,92
13	Th(NO ₃) ₄	0,4	0,192	28	Al(ClO ₃) ₃	0,1	0,30
14	K ₄ Fe(CN) ₆	0,7	0,051	29	CdCl ₂	0,5	0,448
15	Cd(ClO ₄) ₂	5,5	41,3	30	LaCl ₃	2,0	0,825


Б2. Рассчитайте pH раствора сильного электролита с моляльной концентрацией m при температуре 298 К (табл. 3).

Таблица 3

Исходные данные для задачи Б2

Вариант	Электролит	m , моль/кг H ₂ O	Вариант	Электролит	m , моль/кг H ₂ O
1	HBr	0,005	11	Ba(OH) ₂	0,05
2	Ba(OH) ₂	0,01	12	HClO ₄	0,2
3	HClO ₄	0,1	13	KOH	0,1
4	KOH	0,5	14	HNO ₃	0,005
5	HNO ₃	1,0	15	H ₂ SO ₄	0,1
6	H ₂ SO ₄	0,05	16	NaOH	0,1
7	HCl	0,2	17	HF	1,0
8	NaOH	0,5	18	HBr	2,0
9	HF	0,1	19	Ba(OH) ₂	0,2
10	HBr	0,5	20	HClO ₄	0,5

Вариант	Электролит	m , моль/кг H ₂ O	Вариант	Электролит	m , моль/кг H ₂ O
21	КОН	1,0	26	HClO ₄	3,0
22	HNO ₃	0,02	27	КОН	2,0
23	H ₂ SO ₄	0,002	28	HNO ₃	0,01
24	HBr	1,0	29	H ₂ SO ₄	0,02
25	Ba(OH) ₂	0,1	30	HCl	3,0

 Таблица 72 – Средние ионные коэффициенты активности сильных электролитов в водных растворах при 25°C [5].

§ [1], с. 219, задача 4.3.


Б3. Рассчитайте удельную электропроводность, эквивалентную электропроводность и pH раствора слабого электролита с молярной концентрацией C . Температура $T = 298$ К (табл. 4).

Таблица 4

Исходные данные для задачи Б3

Вариант	Электролит	C , моль/л	Вариант	Электролит	C , моль/л
1	Муравьиная (НСООН)	0,15	16	Пропионовая (C ₂ H ₅ COOH)	0,02
2	Уксусная (CH ₃ COOH)	0,02	17	Муравьиная (НСООН)	0,005
3	Пропионовая (C ₂ H ₅ COOH)	0,10	18	Уксусная (CH ₃ COOH)	0,08
4	Масляная (C ₃ H ₇ COOH)	0,03	19	Пропионовая (C ₂ H ₅ COOH)	0,002
5	Дихлоруксусная (CHCl ₂ COOH)	0,05	20	Масляная (C ₃ H ₇ COOH)	0,01
6	Хлоруксусная (CH ₂ ClCOOH)	0,01	21	Муравьиная (НСООН)	0,1
7	Масляная (C ₃ H ₇ COOH)	0,05	22	Уксусная (CH ₃ COOH)	0,2
8	Муравьиная (НСООН)	0,015	23	Пропионовая (C ₂ H ₅ COOH)	0,14
9	Уксусная (CH ₃ COOH)	0,07	24	Масляная (C ₃ H ₇ COOH)	0,08
10	Пропионовая (C ₂ H ₅ COOH)	0,04	25	Дихлоруксусная (CHCl ₂ COOH)	0,12
11	Дихлоруксусная (CHCl ₂ COOH)	0,005	26	Хлоруксусная (CH ₂ ClCOOH)	0,18
12	Хлоруксусная (CH ₂ ClCOOH)	0,025	27	Масляная (C ₃ H ₇ COOH)	0,06
13	Масляная (C ₃ H ₇ COOH)	0,07	28	Муравьиная (НСООН)	0,03
14	Муравьиная (НСООН)	0,02	29	Уксусная (CH ₃ COOH)	0,09
15	Уксусная (CH ₃ COOH)	0,03	30	Пропионовая (C ₂ H ₅ COOH)	0,07

Таблица 65 – Предельная молярная электрическая проводимость ионов в воде в интервале 0–100°C [5];

 Таблица 75 – Константы диссоциации слабых кислот и оснований в водных растворах при 25°C [5].

§ [1], с. 217, задача 4.1.

Б4. Рассчитайте удельную электропроводность насыщенного водного раствора малорастворимого соединения при 298 К, если удельная электропроводность воды, использованной для приготовления раствора, равна $\kappa_{\text{в}}$ (табл. 5).

Таблица 5

Исходные данные для задачи Б4

Вариант	Соединение	$\kappa_{\text{в}} \cdot 10^4$, См/м	Вариант	Соединение	$\kappa_{\text{в}} \cdot 10^4$, См/м
1	AgBr	2,0	16	BaSO ₄	2,0
2	Fe(OH) ₂	2,8	17	Zn(OH) ₂	2,8
3	AgI	1,2	18	CaSO ₄	2,4
4	PbCl ₂	2,4	19	Ag ₂ CrO ₄	1,3
5	Ca(OH) ₂	3,0	20	PbSO ₄	1,4
6	CaCO ₃	2,2	21	Fe(OH) ₂	2,2
7	Ni(OH) ₂	1,6	22	AgI	1,6
8	PbI ₂	1,8	23	PbCl ₂	1,8
9	AgIO ₃	2,6	24	Ca(OH) ₂	2,1
10	Co(OH) ₂	1,4	25	CdCO ₃	1,4
11	CaSO ₄	2,2	26	Ag ₂ SO ₄	2,2
12	Ag ₂ CrO ₄	1,6	27	AgBr	1,2
13	PbSO ₄	1,8	28	CaCO ₃	3,0
14	CdCO ₃	2,6	29	Ni(OH) ₂	2,8
15	Ag ₂ SO ₄	1,4	30	PbI ₂	1,2


 Таблица 65 – Предельная молярная электрическая проводимость ионов в воде в интервале 0–100°C [5];

Таблица 78 – Произведение растворимости при 25°C [5].

§ [7], с. 22.

Б5. На основании приведенных в табл. 6 экспериментальных данных о величине удельного сопротивления ρ раствора слабого электролита при концентрации C рассчитайте удельную и эквивалентную электропроводность раствора, степень диссоциации и константу диссоциации слабого электролита. Значение предельной эквивалентной электрической проводимости рассчитайте по закону Кольрауша. Температура $T = 298$ К.

Таблица 6

Исходные данные для задачи Б5

Вариант	Раствор электролита	ρ , Ом · м	C , моль/л	Вариант	Раствор электролита	ρ , Ом · м	C , моль/л
1	Уксусная кислота CH ₃ COOH	115,9	0,003	3	Муравьиная кислота HCOOH	26,13	0,006
2	Пропионовая кислота C ₂ H ₅ COOH	76,13	0,009	4	Бензойная кислота C ₆ H ₅ COOH	26,07	0,017

Вариант	Раствор электролита	ρ , Ом · м	C , моль/л	Вариант	Раствор электролита	ρ , Ом · м	C , моль/л
5	Валериановая кислота C_4H_9COOH	79,49	0,008	18	Бензойная кислота C_6H_5COOH	27,81	0,015
6	Масляная кислота C_3H_7COOH	109,7	0,004	19	Валериановая кислота C_4H_9COOH	92,09	0,006
7	Гидроксид аммония NH_4OH	75,23	0,014	20	Масляная кислота C_3H_7COOH	89,09	0,006
8	Уксусная кислота CH_3COOH	99,88	0,004	21	Гидроксид аммония NH_4OH	78,13	0,013
9	Пропионовая кислота C_2H_5COOH	115,3	0,004	22	Уксусная кислота CH_3COOH	52,57	0,014
10	Муравьиная кислота $HCOOH$	22,37	0,008	23	Пропионовая кислота C_2H_5COOH	93,65	0,006
11	Бензойная кислота C_6H_5COOH	26,89	0,016	24	Муравьиная кислота $HCOOH$	21,00	0,009
12	Валериановая кислота C_4H_9COOH	113,4	0,004	25	Бензойная кислота C_6H_5COOH	38,54	0,008
13	Масляная кислота C_3H_7COOH	97,82	0,005	26	Уксусная кислота CH_3COOH	115,9	0,0030
14	Гидроксид аммония NH_4OH	72,64	0,015	27	Пропионовая кислота C_2H_5COOH	76,13	0,009
15	Уксусная кислота CH_3COOH	54,59	0,013	28	Муравьиная кислота $HCOOH$	26,13	0,006
16	Пропионовая кислота C_2H_5COOH	80,84	0,008	29	Бензойная кислота C_6H_5COOH	26,07	0,017
17	Муравьиная кислота $HCOOH$	32,62	0,004	30	Валериановая кислота C_4H_9COOH	79,49	0,008



Таблица 65 – Предельная молярная электрическая проводимость ионов в воде в интервале 0–100°C [5];

Таблица 75 – Константы диссоциации слабых кислот и оснований в водных растворах при 25°C [5].

Уровень В

В1. Способность растворов электролитов проводить электричество количественно выражают свойством, называемым *электропроводностью* (так же как и само явление электрической проводимости). При описании свойств растворов электролитов используют удельную электропроводность κ (См/м), молярную электропроводность μ (См·м²/моль) и эквивалентную электропроводность λ (См·м²/моль экв).

Студентам был задан вопрос: почему величина κ раствора стремится к удельной электропроводности воды, когда концентрация раствора стремится к нулю, в то время как эквивалентная (так же как и молярная) электропроводность имеет при этом предел, отличный от электропроводности растворителя?

Были получены следующие ответы:

а) величина κ численно равна силе тока, который регистрируется при единичной напряженности электрического поля в электролитической ячейке с параметрами ячейки, соответствующими смыслу κ . При $C \rightarrow 0$ скорость движения ионов резко уменьшается и поэтому сила тока и, следовательно, удельная электропроводность стремятся к минимуму. При измерениях эквивалентной (и молярной) электропроводности обнаруживается, что при $C \rightarrow 0$ λ и μ достигают максимальных значений потому, что несмотря на падение скорости движения ионов при разбавлении раствора их количество одновременно сильно растет;

б) удельная электропроводность стремится к удельной электропроводности растворителя потому, что предел концентрации $C \rightarrow 0$ означает, что количество проводников электрического тока также стремится к нулю, хотя что там происходит со скоростью движения ничтожного количества ионов – не ясно. Если рассматривать эквивалентную электропроводность раствора, то следует иметь в виду, что по определению при любых концентрациях (или при любом разбавлении) она относится к постоянному количеству электролита – 1 моль эквиваленту.

При $C \rightarrow 0$ мы имеем бесконечно большое разбавление, но по-прежнему одно и то же количество вещества или ионов в объеме между электродами. В случае молярной электропроводности ситуация принципиально та же, только нужно говорить об 1 моль электролита. Поэтому при $C \rightarrow 0$ значения λ и μ не могут быть равны электропроводности воды. Почему они достигают при этом максимальных значений, ответить затрудняюсь;

в) удельная электропроводность стремится к минимуму, количественно равному электропроводности воды потому, что предел концентрации $C \rightarrow 0$ означает, что количество проводников электрического тока также стремится к нулю, нет переносчиков заряда (не считая ионов, образующихся при диссоциации молекул воды), следовательно, электрический ток практически отсутствует. Скорость движения ионов при этом не является определяющим фактором, хотя можно отметить, что при $C \rightarrow 0$ она максимальна для сильных и слабых электролитов.

Максимальное значение λ и μ при бесконечно большом разведении объясняется тем, что одно и то же количество электролита при $C \rightarrow 0$ сильно сосредоточено по огромному объему раствора, поэтому ионы перестают испытывать электростатическое взаимодействие, исчезают электрофоретический и релаксационный тормозящие эффекты, скорость движения ионов становится максимальной и сила тока (электропроводность) тоже максимальна. Сказанное в равной степени относится как к сильным, так и к слабым электролитам;

г) рассматривая удельную электропроводность при бесконечном разведении, не имеет смысла останавливаться на различии в свойствах сильных и слабых электролитов, поскольку при $C \rightarrow 0$ ни того, ни другого электролита в измерительной ячейке просто нет. И поэтому значение κ стремится к электропроводности воды независимо от природы электролита. При этом λ и μ приобретают максимальные значения, так как степень диссоциации сильных и слабых электролитов стремится к своему максимальному значению, равному единице. Изменение скорости движения ионов при этом не является определяющим фактором.

Подробно прокомментируйте эти ответы, отметьте ошибки, неточности. Дайте правильную интерпретацию обсуждаемых явлений.

В2. Молярная электропроводность раствора сильного электролита μ в системе СИ численно равна силе тока, проходящего через объем электролита, заключенный между двумя электродами, находящимися на расстоянии 1 м при разности потенциалов между ними 1 В и с такой площадью, чтобы в объеме между электродами содержался 1 моль электролита. При некоторой температуре величина молярной электропроводности предельно разбавленного раствора электролита BaCl_2 равна $279,96 \cdot 10^{-4} \text{ См} \cdot \text{м}^2/\text{моль}$. Найдите значение эквивалентной электропроводности BaCl_2 и поясните ответ. Прокомментируйте ошибки в возможных ответах на данный вопрос, которые приведены ниже:

а) 1 моль BaCl_2 содержит 2 моль эквивалента, поэтому эквивалентная электропроводность будет равна $559,92 \cdot 10^{-4} \text{ См} \cdot \text{м}^2/\text{моль экв}$, т. е. ровно в 2 раза больше молярной электропроводности;

б) величина эквивалентной электропроводности связана с количеством переносимого *заряда*, но не с количеством переносимых *ионов*. Молекула BaCl_2 содержит 3 иона (Ba^{2+} и 2Cl^-), которым соответствуют 4 единичных заряда. Следовательно, эквивалентная электропроводность будет равна $1119,84 \cdot 10^{-4} \text{ См} \cdot \text{м}^2/\text{моль экв}$, т. е. ровно в 4 раза больше молярной электропроводности;

в) молярная электропроводность BaCl_2 соответствует переносу совокупного заряда, который несут все ионы 1 моль электролита BaCl_2 . Эквивалентная электропроводность соответствует переносу совокупного заряда, который находится у ионов 1 моль эквивалента электролита. 1 моль экв BaCl_2 – это половина 1 моль вещества, следовательно, перенесенный заряд в 2 раза меньше, чем в случае молярной электропроводности. Поэтому $\lambda = 139,98 \cdot 10^{-4} \text{ См}\cdot\text{м}^2/\text{моль экв}$, т. е. в 2 раза меньше величины μ ;

г) так как 1 молекуле электролита соответствует 3 иона, то 1 моль BaCl_2 содержит 3 моль эквивалента вещества. Поэтому $\lambda = 839,88 \cdot 10^{-4} \text{ См}\cdot\text{м}^2/\text{моль экв}$, т. е. в 3 раза больше величины μ .

В3. Для слабого электролита с константой диссоциации, равной 10^{-6} при $T = 298 \text{ К}$, получена следующая экспериментальная зависимость степени диссоциации α от молярной концентрации C :

C , моль/л	10^{-10}	$5 \cdot 10^{-10}$	10^{-9}	$2 \cdot 10^{-8}$	$2 \cdot 10^{-6}$
α	0,9999	0,9995	0,9990	0,9800	0,5000
C , моль/л	$2 \cdot 10^{-5}$	$9 \cdot 10^{-5}$	0,0099	0,0398	0,9990
α	0,2000	0,1000	0,01	0,005	0,001

Как следует из этих данных, уменьшение концентрации раствора от 0,9990 до 0,0099 моль/л ($\Delta C = 0,989$ моль/л) приводит к увеличению степени диссоциации от 0,001 до 0,01 ($\Delta\alpha = 0,099$). С другой стороны, при очень больших разбавлениях уменьшение концентрации раствора от $9 \cdot 10^{-5}$ до 10^{-10} моль/л ($\Delta C = \sim 0,0001$ моль/л) приводит к более резкому увеличению степени диссоциации электролита: от 0,1 до 0,9999 ($\Delta\alpha = 0,8999$).

Для большей наглядности можно округлить в пределах разумного значения ΔC и $\Delta\alpha$. Тогда в диапазоне концентраций примерно от 1 до 0,01 моль/л ($\Delta C = 1,0$ моль/л) $\Delta\alpha = 0,1$, а при очень малых концентрациях в диапазоне примерно от 10^{-4} до 10^{-10} моль/л ($\Delta C = 0,0001$ моль/л) $\Delta\alpha = 0,9$.

Вопросы

1. Прокомментируйте на качественном уровне обсуждаемую концентрационную зависимость степени диссоциации слабого электролита.

2. Можно ли на основании представленных данных сделать какие-либо выводы о концентрационной зависимости эквивалентной электропроводности растворов слабых электролитов и пояснить эту зависимость?

На эти вопросы разными студентами были даны следующие ответы:

а) 1. Как следует из представленных данных, степень диссоциации слабого электролита является убывающей функцией концентрации

раствора. Увеличение разбавления приводит к очень резкому росту степени диссоциации, и при бесконечном разбавлении величина α , очевидно, стремится к бесконечности.

2. По мере уменьшения концентрации раствора уменьшается количество электролита в единице объема, соответственно, уменьшается степень электростатического взаимодействия ионов, увеличивается их скорость, следовательно, эквивалентная электропроводность при $C \rightarrow 0$ будет расти и достигнет своего максимального значения.

б) 1. Степень диссоциации слабого электролита, как следует из анализа приведенных данных, очень сильно растет при уменьшении концентрации в диапазоне предельно разбавленных растворов и стремится к своему пределу, равному единице.

2. В соответствии с выражением $\alpha = \lambda / \lambda_{\infty}$ величина λ также будет увеличиваться по мере разбавления раствора и в пределе достигнет значения, равного λ_{∞} . Физически эту закономерность можно объяснить увеличением скорости движения ионов по мере увеличения разбавления раствора.

в) 1. Степень диссоциации слабого электролита слабо зависит от концентрации в диапазоне обычных по величине концентраций, но является очень сильной убывающей функцией концентрации при больших разбавлениях раствора.

2. Точно так же изменяется величина λ слабого электролита по мере роста концентрации, эта зависимость имеет очень крутой ход. Характер концентрационных зависимостей α и λ слабого электролита определяется его константой диссоциации. Из выражения закона разведения Оствальда $K_d = \alpha^2 C / (1 - \alpha)$ следует, что величина K_d является возрастающей функцией концентрации раствора и степени диссоциации электролита. Согласованное между собой изменение C , K_d и α приводит к наблюдаемой зависимости степени диссоциации и λ слабого электролита от концентрации.

г) 1. В предельно разбавленных растворах даже незначительное уменьшение концентрации раствора слабого электролита ведет к очень резкому увеличению его степени диссоциации до максимального значения, равного единице, а затем, при повышении концентрации в обычном рабочем диапазоне концентраций степень диссоциации уменьшается очень плавно.

2. Точно так же выглядит концентрационная зависимость эквивалентной электропроводности слабого электролита. Величина λ слабого электролита определяется только числом ионов, находящихся в единице объема раствора, а оно быстро увеличивается по мере

приближения раствора к бесконечному разведению. Скорость движения ионов в растворах слабых электролитов практически не зависит от концентрации, поэтому для обсуждения данного явления этот параметр не должен приниматься во внимание. Сказанное подтверждается формулами $\alpha = \lambda / \lambda_{\infty}$ или $\lambda = \alpha \lambda_{\infty}$. При $C \rightarrow 0$ $\alpha = 1$ и $\lambda = \lambda_{\infty}$.

Найдите неточности, ошибки в ответах. Если какое-либо заключение не раскрыто полностью, добавьте недостающие пояснения. Дайте правильные ответы на поставленные вопросы.

В4. Может ли эквивалентная электропроводность водного раствора слабого электролита при той же температуре быть больше эквивалентной электропроводности сильного электролита? На данный вопрос были получены следующие ответы:

а) величина λ раствора слабого электролита всегда меньше по сравнению с сильным электролитом, так как по определению в единице объема раствора слабого электролита количество переносчиков заряда намного меньше по сравнению с сильным электролитом при той же самой нормальной концентрации раствора;

б) величина константы диссоциации слабого электролита намного меньше величины константы диссоциации сильного электролита, поэтому в единице объема раствора сильного электролита количество ионов, переносимых заряд, всегда больше и, соответственно, λ раствора сильного электролита не может быть меньше λ раствора слабого электролита;

в) самой большой электропроводностью обладают водные растворы сильных кислот и растворимых оснований (щелочей), так как в их растворах перенос заряда ионами водорода и ионами гидроксила происходит по эстафетному механизму. Электропроводность водных растворов хорошо растворимых солей меньше, так как в их составе отсутствуют ионы H^+ и OH^- . Слабые кислоты (например, уксусная кислота) и слабые основания (например, гидроксид аммония) диссоциируют очень слабо, поэтому, несмотря на то, что их молекулы содержат катионы H^+ и анионы OH^- , величина эквивалентной электропроводности их растворов всегда существенно меньше, чем у растворов сильных кислот и щелочей;

г) эквивалентная электропроводность раствора слабого электролита при бесконечном разведении стремится к величине, которая может оказаться больше величины эквивалентной электропроводности раствора сильного электролита. Например, при $C \rightarrow 0$ (разбавление раствора $V \rightarrow \infty$) λ_{∞} слабого электролита CH_3COOH больше λ_{∞} сильного электролита CH_3COONa или любой другой хорошо растворимой соли и даже щелочи, например $NaOH$. Это объясняется резким увеличением

скорости движения ионов слабых электролитов при бесконечном разведении раствора.

Найдите неточности, ошибки в ответах, прокомментируйте ответы, дайте верные ответы на поставленные вопросы.

В5. Представим себе гипотетическую электролитическую ячейку с параллельными электродами, находящимися на расстоянии 1 м с разностью потенциалов между ними 1 В. В ячейку заливается раствор Na_2SO_4 с молярной концентрацией $C = 0,1$ моль/л.

Вопросы

1. Какой объем электролита (в литрах) должен оказаться между электродами, чтобы измеренная электропроводность по величине оказалась равной эквивалентной электропроводности λ ?

2. Какова должна быть при этом площадь поверхности электродов? Ответ необходимо дать в единицах международной системы СИ.

Получены следующие ответы:

а) 1. Объем раствора между электродами должен быть равен разведению – величине, обратной концентрации. В нашем случае разведение V равно $1/(0,1 \text{ моль/л}) = 10 \text{ л/моль}$.

2. Площадь поверхности электродов для данного объема в литрах должна быть численно равна $10\,000 \text{ см}^2$, так как $1 \text{ л} = 1000 \text{ мл} = 1000 \text{ см}^3$. В единицах системы СИ площадь поверхности электродов равна 1 м^2 .

б) 1. Разведение V в системе СИ для данной концентрации раствора равно $1/C$. Если в 1 л раствора по условию содержится 0,1 моль соли, то в 1 м^3 такого раствора должно содержаться в тысячу раз больше электролита, т. е. 100 моль. Тогда разведение $V = 1/(100 \text{ моль/м}^3) = 0,01 \text{ м}^3/\text{моль}$. Объем раствора между электродами равен $0,01 \text{ м}^3$.

2. Площадь электродов равна $0,01 \text{ м}^2$.

в) Выразим концентрацию раствора в моль экв/л. 1 моль Na_2SO_4 содержит 0,5 моль экв вещества, поэтому $C = 0,5 \cdot 0,1 = 0,05 \text{ моль экв/л}$, или $0,05 \cdot 10^3 = 50 \text{ моль экв/м}^3$. Разведение V в системе СИ для данной концентрации раствора равно $1/C = 1/(50 \text{ моль экв/м}^3) = 0,02 \text{ м}^3/\text{моль экв}$. Ответ: 1. объем раствора между электродами должен быть равен разведению $V = 0,02 \text{ м}^3$.

2. Площадь поверхности электродов должна быть численно равна разведению – $0,02 \text{ м}^2$.

г) 1 моль Na_2SO_4 содержит 2 моль экв вещества, поэтому концентрация раствора в моль экв/л равна $2 \cdot 0,1 = 0,2 \text{ моль экв/л}$, или, с учетом того, что $1 \text{ л} = 10^{-3} \text{ м}^3$, $C = 0,2 \cdot 10^3 = 200 \text{ моль экв/м}^3$. Тогда разведение V в системе СИ для данной концентрации раствора равно $1/C = 1/(200 \text{ моль экв/м}^3) = 0,005 \text{ м}^3/\text{моль экв}$.

1. Объем раствора между электродами должен быть равен разведению $V = 0,005 \text{ м}^3$.

2. Площадь поверхности электродов должна быть численно равна разведению ($0,005 \text{ м}^2$).

Найдите неточности, ошибки в ответах, прокомментируйте ответы, дайте верные ответы на поставленные вопросы.

В6. Представим себе гипотетическую электролитическую ячейку с параллельными электродами, находящимися на расстоянии 1 м с разностью потенциалов между ними 1 В. В ячейку заливается раствор CuCl_2 с молярной концентрацией $C = 0,1$ моль/л. Площадь поверхности электродов подобрана таким образом, чтобы заключенный между ними объем раствора включал 1 моль экв электролита CuCl_2 .

Вопросы

1. Как можно найти количество вещества (в моль)?

2. Как найти величину заряда (в кулонах), который переносится за 1 с при прохождении электрического тока через любое поперечное сечение, мысленно выделенное в объеме между электродами данной ячейки?

Были получены следующие ответы:

а) 1. По определению, эквивалентная электропроводность связана с объемом раствора электролита, заключенного между электродами, в котором находится 1 моль экв вещества. Следовательно, за 1 с через поперечное сечение, равное площади электродов (1 м^2), будет перенесено 1 моль экв CuCl_2 , или 0,5 моль CuCl_2 .

2. Заряд переносят два типа ионов – Cu^{2+} и Cl^- . 0,5 моль электролита содержат 0,5 моль ионов Cu^{2+} и 1 моль ионов Cl^- , т. е. всего 1,5 моль ионов, из которых каждый моль ионов переносит заряд, равный числу Фарадея F . Поэтому совокупный заряд, который переносится за 1 с через поперечное сечение электролита, равен $1,5F$ Кл.

б) Если эквивалентная электропроводность λ раствора электролита CuCl_2 с концентрацией 0,1 моль/л известна, то далее следует найти разбавление раствора V в л/моль экв. Нормальная концентрация раствора равна 0,2 моль экв/л, поэтому $V = 1/C = 5$ л/моль экв. Следовательно, если исходить из физического смысла эквивалентной электропроводности, между электродами должен быть заключен объем раствора, равный 5 л, или $5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$, а площадь электродов и любое поперечное сечение раствора между ними численно равны $0,005 \text{ м}^2$.

1. За 1 с через поперечное сечение $0,005 \text{ м}^2$ будет перенесено количество вещества, содержащееся между электродами при заданной

нормальной концентрации раствора, т. е. 0,2 моль экв CuCl_2 , или 0,1 моль вещества.

2. Поскольку заряд, переносимый 1 моль экв любой заряженной частицы, равен числу Фарадея и измеряется, как известно, в 96485 Кл/моль экв, то в нашем случае он будет равен $0,2 \cdot 96\,485$ Кл.

в) Рассчитаем разбавление раствора V в л/моль экв при заданной концентрации раствора: нормальная концентрация раствора равна 0,2 моль экв/л, поэтому $V = 1/C = 5$ л/моль экв. Следовательно, если исходить из физического смысла эквивалентной электропроводности, известная величина λ будет фиксироваться в том случае, когда между электродами будет заключен объем раствора, равный 5 л, или $5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$, и в этом объеме будет содержаться 1 моль экв электролита. При этом площадь электродов и поперечное сечение раствора между ними должны быть численно равны $0,005 \text{ м}^2$.

1. За 1 с через поперечное сечение $0,005 \text{ м}^2$ будет перенесено количество вещества, равное 1 моль экв CuCl_2 , или 0,5 моль CuCl_2 .

2. Заряд переносится обоими типами ионов, в объеме электролита между электродами заключено по 1 моль экв ионов Cu^{2+} и Cl^- , т. е. всего 2 моль экв ионов. Поскольку заряд, переносимый 1 моль экв любой заряженной частицы, равен числу Фарадея и измеряется, как известно, в 96 485 Кл/моль экв, то в нашем случае он будет равен $2 \cdot 96\,485$ Кл.

г) 1. Эквивалентная электропроводность λ численно равна силе тока, который проходит между двумя параллельными электродами, расстояние между которыми равно 1 м, а площадь численно равна разведению раствора $V = 1/C$, выраженному в $\text{м}^3/\text{моль экв}$. Сила тока, по определению, это заряд, переносимый через поперечное сечение электролита за 1 с.

Рассчитываем площадь электродов в м^2 : нормальная концентрация раствора в 2 раза больше молярной концентрации, поэтому $V = 1/(0,2 \text{ моль экв/л}) = 5$ л/моль экв. Выражаем разведение в $\text{м}^3/\text{моль экв}$ и получаем, что площадь электродов, также как и площадь поперечного сечения, о котором идет речь, равна $0,005 \text{ м}^2$. За 1 с через данное поперечное сечение не успеют пройти все ионы, которые находятся в объеме между электродами. На самом деле это поперечное сечение пересекут только те ионы, которые находятся от данной плоскости на расстоянии, численно равном абсолютным скоростям движения катионов V_+ или анионов V_- , или меньшем, чем V_+ и V_- . Это соответствует количеству ионов, находящихся в объеме, равном произведению площади поперечного сечения на скорость движения катиона V_+ или аниона V_- .

Для катионов Cu^{2+} этот объем равен $(0,005 \text{ м}^2)(V_+ \text{ м}) = 0,005V_+ \text{ м}^3$. Соответственно, для анионов Cl^- он равен $0,005V_- \text{ м}^3$. Зная молярную концентрацию раствора, можно рассчитать количество обоих типов ионов, которые за 1 с пересекут данное сечение раствора. В 1 л раствора CuCl_2 по условию содержится 0,1 моль ионов Cu^{2+} и 0,2 моль ионов Cl^- . Соответственно, в 1 м^3 такого раствора будет находиться в тысячу раз больше вещества: 100 моль CuCl_2 , или 100 моль ионов Cu^{2+} и 200 моль ионов Cl^- . Тогда объемы $0,005V_+$ и $0,005V_-$ будут в сумме вмещать в себя $100 \cdot 0,005V_+ + 200 \cdot 0,005V_- = 1,5 (V_+ + V_-)$ моль ионов, которые перенесут требуемый заряд.

2. Чтобы рассчитать величину заряда, необходимо перейти от моль ионов к моль экв ионов. 1 моль катионов Cu^{2+} содержат в 2 раза больше моль экв, т. е. 2 моль экв ионов, для однозарядных анионов Cl^- численные значения моль и моль экв совпадают. Поэтому за 1 с между электродами пройдет заряд, который соответствует $(200 \text{ моль экв/м}^3)(0,005 \text{ м}^2)(V_+ \text{ м/с}) + (200 \text{ моль экв/м}^3)(0,005 \text{ м}^2)(V_- \text{ м/с}) = 2 (V_+ + V_-)$ моль экв/с ион и равный $(2 \text{ моль экв/с}) \cdot (V_+ + V_-)(F \text{ Кл/моль экв}) = 2(V_+ + V_-)F \text{ Кл/с}$.

Найдите неточности, ошибки в ответах, прокомментируйте ответы, дайте верные ответы на поставленные вопросы.



СДО БГТУ → Кафедра физической и коллоидной химии → Курсы «Физическая химия 3 курс» или «Физическая химия 4 курс (заочный факультет)» → Раздел «Тестовый самоконтроль» → Тест «Электрохимия».

Механизм возникновения электродных потенциалов.

Электроды, классификация электродов. Электроды первого и второго рода, окислительно-восстановительные, газовые, амальгамные. Правила записи электродов. Стандартный водородный электрод.

Электродные потенциалы, зависимость их величин от активностей участников электродной реакции и температуры, уравнение Нернста. Правила записи электродных потенциалов. Стандартные электродные потенциалы.

Классификация гальванических элементов: химические и концентрационные, с переносом и без переноса. Правила записи гальванических элементов. Анализ работы концентрационных гальванических элементов.

Термодинамика гальванического элемента. Связь ΔH , ΔS , ΔG° , ΔG , K_a химической реакции, протекающей в гальваническом элементе, с ЭДС гальванического элемента.

Электро- и массоперенос в ГЭ. Диффузионный потенциал, причины его возникновения и способы устранения.

Применение метода измерения ЭДС гальванического элемента для определения средней ионной активности, среднего ионного коэффициента активности сильного электролита и рН раствора электролита.

Принцип компенсационного метода измерения ЭДС гальванического элемента. Нормальный элемент Вестона.

Уровень А

A1. Составьте электрод первого рода, обратимый относительно катиона. Из приведенных формул веществ (табл. 7) выберите те, которые соответствуют электролиту и веществу электрода, запишите схему электрода, электродный процесс (на аноде) и уравнение Нернста.

Исходные данные для задачи А1

Вариант	Вещества
1	CuCl ₂ , H ₂ , Cu, Ag, AgCl, Cu(OH) ₂ , Cl ₂
2	Ni, NaOH, Ni(NO ₃) ₂ , O ₂ , Pt
3	Mg, MgO, H ₂ , Pt, MgCl ₂
4	Cr, K ₂ Cr ₂ O ₇ , Na ₂ CrO ₄ , CrCl ₃ , Cr(OH) ₃
5	Mn, MnO ₂ , KMnO ₄ , MnCl ₂ , KCl
6	Fe, K ₃ [Fe(CN) ₆], Fe(OH) ₂ , FeCl ₃ , FeO
7	PbSO ₄ , H ₂ SO ₄ , Pb, PbO ₂ , Pt, Pb(NO ₃) ₂
8	Ag ₂ SO ₄ , AgNO ₃ , Ag, KNO ₃ , HCl
9	Al(OH) ₃ , KOH, AlCl ₃ , Pt, Al
10	ZnS, Zn, S, ZnSO ₄ , Pt, Hg, Hg ₂ Cl ₂
11	Pt, O ₂ , H ₂ , CrCl ₃ , Cr, Na ₂ CrO ₄
12	Sn, Sn(OH) ₂ , Pt, SnCl ₂ , SnO ₂
13	Ag, AgCl, KCl, AgNO ₃ , Ag ₂ O, KOH
14	Hg, Hg ₂ Cl ₂ , KCl, K, KOH, Pt
15	Pb, KOH, PbO, Pb(NO ₃) ₂ , PbSO ₄
16	Zn, Zn(OH) ₂ , ZnCl ₂ , HCl, Cl ₂ , Pt
17	Cu, CuCl, Cu(OH) ₂ , Ni, Ni(OH) ₂ , NiCl ₂
18	Na ₂ S, S, ZnS, Na, Zn, K ₂ ZnO ₂
19	Ag ₂ CrO ₄ , Cr, CrCl ₃ , Ag, Ag ₂ SO ₄ , K[Cr(OH) ₄]
20	K[Al(OH) ₄], Al, Al(OH) ₃ , Zn, K ₂ ZnO ₂ , Al ₂ (SO ₄) ₃
21	Hg, Hg ₂ I ₂ , KI, I ₂ , K, Pt, PbI ₂
22	Ag ₂ O, Ag, KOH, Ag ₂ S, Pt, K ₂ S, AgNO ₃
23	Co, Co(OH) ₂ , CoS, Co(NO ₃) ₂ , KOH, H ₂
24	Hg, Hg ₂ SO ₄ , Hg ₂ Cl ₂ , H ₂ SO ₄ , AgCl, Hg(NO ₃) ₂
25	Hg, Hg ₂ I ₂ , KI, I ₂ , Pt, Cu, CuSO ₄
26	Ag, AgCl, KCl, AgNO ₃ , Ag ₂ O, KOH
27	Hg, Hg ₂ I ₂ , KI, I ₂ , K, Pt, PbI ₂
28	Ag ₂ SO ₄ , AgNO ₃ , Ag, KNO ₃ , HCl
29	Cu, CuCl, Cu(OH) ₂ , Ni, Ni(OH) ₂ , NiCl ₂
30	Mg, MgO, H ₂ , Pt, MgCl ₂

А2. Составьте электрод второго рода, обратимый относительно аниона. Из приведенных формул веществ (табл. 8) выберите те, которые соответствуют электролиту и веществам электрода, запишите схему электрода, электродный процесс (на катоде) и уравнение Нернста.

Исходные данные для задачи А2

Вариант	Вещества
1	Ag, AgCl, Cu(OH) ₂ , Cl ₂ , Ag ₂ SO ₄ , K ₂ SO ₄ , Pt
2	CuCl ₂ , H ₂ , Cu, CuCl (тв), HCl, Cu(OH) ₂ , Cl ₂

Вариант	Вещества
3	Hg, Hg ₂ I ₂ , KI, I ₂ , K, Pt, PbI ₂
4	Hg, Hg ₂ Cl ₂ , KI, I ₂ , K, Pt, Cl ₂ , NaCl
5	Ag ₂ CrO ₄ , Cr, Cr ₂ (SO ₄) ₃ , Ag, Ag ₂ SO ₄
6	Ag ₂ CrO ₄ , Cr, K ₂ CrO ₄ , Ag, Ag ₂ SO ₄ , Pt, Cr(OH) ₃
7	K ₂ CrO ₄ , Ag, Ag ₂ SO ₄ , Cr(OH) ₃ , KOH, K ₂ SO ₄
8	Al, KOH, AlCl ₃ , Al(OH) ₃ , K[Al(OH) ₄]
9	Zn, Zn(OH) ₂ , ZnCl ₂ , HCl, Cl ₂ , Pt, NaOH, Cl ₂
10	Ag ₂ O, Ag, KOH, Ag ₂ S, Pt, AgNO ₃
11	Ag, KOH, Ag ₂ S, Pt, K ₂ S, AgNO ₃
12	Sn, Sn(OH) ₂ , Pt, SnCl ₂ , KOH, K
13	PbSO ₄ , H ₂ SO ₄ , H ₂ , Pb, Pb(NO ₃) ₂ , PbO ₂
14	Cr, Cr(OH) ₃ , K ₂ CrO ₄ , KOH, K ₂ SO ₄
15	Fe, Fe(OH) ₂ , Fe ₂ O ₃ , KOH, FeCl ₂ , Pt
16	Ni(OH) ₂ , NiSO ₄ , Ni, Na ₂ SO ₄ , NaOH
17	PbSO ₄ , PbS, H ₂ , Pb, ZnSO ₄ , Zn
18	PbSO ₄ , PbS, H ₂ , Pb, Na ₂ S, Zn, Na
19	Co, Co(OH) ₂ , CoS, Co(NO ₃) ₂ , KOH, H ₂
20	Co, CoS, Co(NO ₃) ₂ , KOH, K ₂ S, Pt
21	Hg, Hg ₂ SO ₄ , I ₂ , K, Pt, PbI ₂ , Pb, KI
22	Ag, AgI, KI, I ₂ , K, AgNO ₃
23	Cu(OH) ₂ , CuCl ₂ , Cu, HCl, Cl ₂ , NaOH, Pt
24	AgBr, Ag, KBr, Br ₂ , Hg ₂ Br ₂
25	Hg, Hg ₂ SO ₄ , Hg ₂ Cl ₂ , H ₂ SO ₄ , AgCl
26	Ag ₂ CrO ₄ , Cr, Cr ₂ (SO ₄) ₃ , Ag, Ag ₂ SO ₄
27	PbSO ₄ , PbS, H ₂ , Pb, Na ₂ S, Zn, Na
28	Ag ₂ O, Ag, KOH, Ag ₂ S, Pt, AgNO ₃
29	Co, CoS, Co(NO ₃) ₂ , KOH, K ₂ S, Pt
30	CuCl ₂ , H ₂ , Cu, CuCl (тв), HCl, Cu(OH) ₂ , Cl ₂

A3. Обозначение медного электрода первого рода:

- а) Cu | Cu²⁺;
- б) Cu²⁺ | Cu;
- в) Cu²⁺, Cu;
- г) Cu, Cu²⁺.

A4. Обозначение цинкового электрода первого рода:

- а) ZnSO₄ | Zn;
- б) Zn | Zn²⁺;
- в) ZnSO₄, Zn;
- г) Zn²⁺, Zn.

A5. Процесс, протекающий на медном электроде первого рода, записывается следующим образом:

- а) $\text{Cu}^{2+} + 2e = \text{Cu}$;
- б) $\text{Cu} + 2e = \text{Cu}^{2+}$;
- в) $\text{CuSO}_4 + 2e = \text{Cu} + \text{SO}_4^{2-}$;
- г) $\text{Cu} + \text{SO}_4^{2-} = \text{CuSO}_4 + 2e$.

A6. Обозначение электродного потенциала цинкового электрода первого рода:

- а) $E_{\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}}$;
- б) $E_{\text{Zn}^{2+}, \text{Zn}}$;
- в) $E_{\text{Zn}/\text{Zn}^{2+}}$;
- г) $E_{\text{Zn}, \text{Zn}^{2+}}$.

A7. Уравнение Нернста для расчета потенциала медного электрода первого рода:

- а) $E_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}} = E_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}}^{\circ} - 0,059 \lg \frac{a_{\text{Cu}^{2+}}}{a_{\text{Cu}}}$;
- б) $E_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}} = E_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}}^{\circ} + \frac{0,059}{2} \lg a_{\text{Cu}^{2+}}$;
- в) $E_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}} = E_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}}^{\circ} + \frac{0,059}{2} \lg \frac{a_{\text{Cu}}}{a_{\text{Cu}^{2+}}}$;
- г) $E_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}} = E_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}}^{\circ} - \frac{0,059}{2} \lg a_{\text{Cu}^{2+}}$.

A8. Схема селенового электрода первого рода имеет вид:

- а) $\text{Se} | \text{Se}^{2-}$;
- б) $\text{Se}^{2-} | \text{Se}$;
- в) $\text{Se} | \text{Se}^{2+}$;
- г) $\text{Se}^{2+} | \text{Se}$.

A9. Калиевый амальгамный электрод обозначается:

- а) $\text{K} | \text{K}^+$;
- б) $\text{K}^+ | \text{K}$;
- в) $\text{K}^+ | \text{K} (\text{Hg})$;
- г) $\text{K}^+(\text{Hg}) | \text{K}$.

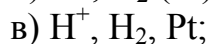
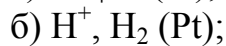
A10. Уравнение Нернста для расчета потенциала калиевого амальгамного электрода:

- а) $E_{\text{K}^+/\text{K}} = E_{\text{K}^+/\text{K}}^{\circ} + 0,059 \lg a_{\text{K}^+}$;
- б) $E_{\text{K}^+/\text{K}} = E_{\text{K}^+/\text{K}}^{\circ} + 0,059 \lg \frac{a_{\text{K}^+}}{a_{\text{K}(\text{Hg})}}$;

$$в) E_{K^+/K} = E_{K^+/K}^{\circ} - 0,059 \lg a_{K^+};$$

$$г) E_{K^+/K} = E_{K^+/K}^{\circ} + 0,059 \lg \frac{a_{K(Hg)}}{a_{K^+}}.$$

A11. Схема газового водородного электрода имеет вид:



A12. Уравнение Нернста для расчета электродного потенциала газового водородного электрода:

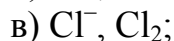
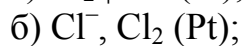
$$а) E_{H^+/H_2} = E_{H^+/H_2}^{\circ} + 0,059 \lg \frac{a_{H^+}}{p_{H_2}};$$

$$б) E_{H^+/H_2} = E_{H^+/H_2}^{\circ} + 0,059 \lg \frac{a_{H^+}^2}{p_{H_2}};$$

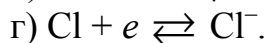
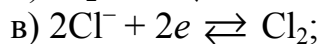
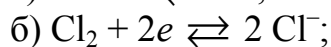
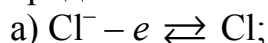
$$в) E_{H^+/H_2} = E_{H^+/H_2}^{\circ} + \frac{0,059}{2} \lg \frac{a_{H^+}^2}{p_{H_2}};$$

$$г) E_{H^+/H_2} = E_{H^+/H_2}^{\circ} - \frac{0,059}{2} \lg \frac{a_{H^+}^2}{p_{H_2}}.$$

A13. Схема газового хлорного электрода имеет вид:



A14. Уравнение процесса, протекающего на газовом хлорном электроде:



A15. Уравнение Нернста для расчета электродного потенциала газового хлорного электрода:

$$а) E_{Cl^-/Cl_2} = E_{Cl^-/Cl_2}^{\circ} + 0,059 \lg \frac{a_{Cl^-}^2}{p_{Cl_2}};$$

$$б) E_{Cl_2/Cl^-} = E_{Cl_2/Cl^-}^{\circ} + \frac{0,059}{2} \lg \frac{p_{Cl_2}}{a_{Cl^-}^2};$$

$$в) E_{\text{Cl}_2/\text{Cl}^-} = E_{\text{Cl}_2/\text{Cl}^-}^{\circ} + 0,059 \lg \frac{p_{\text{Cl}_2}}{a_{\text{Cl}^-}};$$

$$г) E_{\text{Cl}_2/\text{Cl}^-} = E_{\text{Cl}_2/\text{Cl}^-}^{\circ} + \frac{0,059}{2} \lg \frac{p_{\text{Cl}_2}^2}{a_{\text{Cl}^-}}.$$

A16. Схема хлорсеребряного электрода второго рода имеет вид:

- а) $\text{Cl}^- | \text{Ag}, \text{AgCl}$;
- б) $\text{Cl}^- | \text{AgCl}, \text{Ag}$;
- в) $\text{Ag}, \text{AgCl} | \text{Cl}^-$;
- г) $\text{Cl}^-, \text{Ag}, \text{AgCl}$.

A17. Уравнение процесса, протекающего на хлорсеребряном электроде второго рода:

- а) $\text{Cl}^- + \text{Ag} \rightleftharpoons \text{AgCl}$;
- б) $\text{AgCl} + e \rightleftharpoons \text{Ag} + \text{Cl}^-$;
- в) $\text{Cl}^- - e + \text{Ag} \rightleftharpoons \text{AgCl}$;
- г) $\text{AgCl} - e \rightleftharpoons \text{Ag}^+ + \text{Cl}^-$.

A18. Уравнение Нернста для расчета электродного потенциала хлорсеребряного электрода второго рода:

- а) $E_{\text{AgCl}/\text{Ag}, \text{Cl}^-} = E_{\text{AgCl}/\text{Ag}, \text{Cl}^-}^{\circ} + 0,059 \lg a_{\text{Cl}^-}$;
- б) $E_{\text{AgCl}/\text{Ag}, \text{Cl}^-} = E_{\text{AgCl}/\text{Ag}, \text{Cl}^-}^{\circ} - 0,059 \lg a_{\text{Cl}^-}$;
- в) $E_{\text{Ag}, \text{Cl}^-/\text{AgCl}} = E_{\text{Ag}, \text{Cl}^-/\text{AgCl}}^{\circ} - 0,059 \lg a_{\text{Cl}^-}$;
- г) $E_{\text{AgCl}, \text{Ag}, \text{Cl}^-} = E_{\text{AgCl}, \text{Ag}, \text{Cl}^-}^{\circ} + 0,059 \lg a_{\text{Cl}^-}$.

A19. Схема железного окислительно-восстановительного электрода:

- а) $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+} | (\text{Pt})$;
- б) $\text{Fe}^2, \text{Fe}^{3+} | (\text{Pt})$;
- в) $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$;
- г) $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+} | (\text{Pt})$.

A20. Схема хингидронного окислительно-восстановительного электрода:

- а) $\text{C}_6\text{H}_4\text{O}_2, \text{C}_6\text{H}_6\text{O}_2 | (\text{Pt})$;
- б) $\text{H}^+, \text{C}_6\text{H}_4\text{O}_2, \text{C}_6\text{H}_6\text{O}_2 | (\text{Pt})$;
- в) $\text{H}^+ | \text{C}_6\text{H}_4\text{O}_2, \text{C}_6\text{H}_6\text{O}_2 | (\text{Pt})$;
- г) $\text{H}^+, \text{C}_6\text{H}_4\text{O}_2 | \text{C}_6\text{H}_6\text{O}_2 | (\text{Pt})$.

A21. Химические гальванические элементы состоят из электродов:

- а) одинаковой природы;
- б) различной природы;
- в) с различными активностями участников электродных процессов;
- г) с одинаковыми активностями участников электродных процессов.

A22. Гальванический элемент с переносом ...

- а) состоит из двух различных по своей природе электродов;
- б) состоит из двух электродов одинаковой природы;
- в) имеет в своем составе один раствор (жидкую фазу);
- г) включает в себя два раствора, разделенных полупроницаемой мембраной или солевым мостиком.

A23. Гальванический элемент без переноса...

- а) включает в себя одну жидкую фазу;
- б) включает в себя две жидкие фазы;
- в) состоит из электродов одинаковой природы;
- г) состоит из двух электродов различной природы.

A24. Концентрационные гальванические элементы состоят из:

- а) двух электродов различной природы;
- б) двух электродов различной природы с одинаковыми активностями участников электродных процессов;
- в) двух электродов одинаковой природы, отличающихся активностями участников электродных процессов;
- г) двух электродов одинаковой природы с одинаковыми активностями участников электродных процессов.

A25. Электродвижущая сила гальванического элемента может быть:

- а) больше нуля;
- б) меньше нуля;
- в) больше или равна нулю;
- г) меньше или равна нулю.

A26. В гальваническом элементе более высоким электродным потенциалом характеризуется:

- а) катод;
- б) электрод, записываемый в схеме элемента слева;
- в) электрод, на котором протекает процесс окисления;
- г) газовый электрод.

A27. В гальваническом элементе...

- а) потенциал катода больше потенциала анода;
- б) потенциал анода больше потенциала катода;
- в) анод может иметь потенциал как больше, так и меньше потенциала катода;
- г) потенциал катода и анода должны быть равны.

A28. Выражение для расчета ЭДС гальванического элемента имеет вид:

- а) $E_{ГЭ} = E_{к} - E_{а}$;
- б) $E_{ГЭ} = E_{-} - E_{+}$;

в) $E_{ГЭ} = E_{к} + E_{а};$

г) $E_{ГЭ} = E_{+} + E_{-}.$

A29. Из двух хлорсеребряных электродов второго рода можно составить:

- а) химический гальванический элемент с переносом;
- б) химический гальванический элемент без переноса;
- в) концентрационный гальванический элемент с переносом;
- г) концентрационный гальванический элемент без переноса.

A30. Из двух газовых водородных электродов ($p(\text{H}_2) = 1$ атм) можно составить:

- а) химический гальванический элемент с переносом;
- б) химический гальванический элемент без переноса;
- в) концентрационный гальванический элемент без переноса;
- г) концентрационный гальванический элемент с переносом.

A31. Из двух окислительно-восстановительных хингидронных электродов можно составить:

- а) химический гальванический элемент с переносом;
- б) химический гальванический элемент без переноса;
- в) концентрационный гальванический элемент с переносом;
- г) концентрационный гальванический элемент без переноса.

A32. Из медного и цинкового электродов первого рода можно составить:

- а) химический гальванический элемент с переносом;
- б) химический гальванический элемент без переноса;
- в) концентрационный гальванический элемент с переносом;
- г) концентрационный гальванический элемент без переноса.

A33. Из двух газовых хлорных электродов ($p(\text{Cl}_2) = 1$ атм) нельзя составить:

- а) концентрационный гальванический элемент с переносом;
- б) концентрационный гальванический элемент без переноса;
- в) химический гальванический элемент без переноса;
- г) химический гальванический элемент с переносом.

A34. Выражение для расчета ЭДС элемента Даниэля – Якоби имеет вид:

$$\text{а) } E_{ГЭ} = E_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}}^{\circ} - E_{\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}}^{\circ} + \frac{0,059}{2} \lg \frac{a_{\text{Zn}^{2+}}}{a_{\text{Cu}^{2+}}};$$

$$\text{б) } E_{ГЭ} = E_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}}^{\circ} - E_{\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}}^{\circ} + \frac{0,059}{2} \lg \frac{a_{\text{Cu}^{2+}}}{a_{\text{Zn}^{2+}}};$$

$$в) E_{ГЭ} = E^{\circ}_{Zn^{2+}/Zn} - E^{\circ}_{Cu^{2+}/Cu} + \frac{0,059}{2} \lg \frac{a_{Cu^{2+}}}{a_{Zn^{2+}}};$$

$$г) E_{ГЭ} = E^{\circ}_{Zn^{2+}/Zn} - E^{\circ}_{Cu^{2+}/Cu} + \frac{0,059}{2} \lg \frac{a_{Zn^{2+}}}{a_{Cu^{2+}}}.$$

A35. Выражение для расчета ЭДС концентрационного гальванического элемента без переноса, составленного из двух газовых фторных электродов, имеет вид:

$$а) E_{ГЭ} = \frac{0,059}{2} \lg \frac{a_{F^-, пр}}{a_{F^-, лев}};$$

$$б) E_{ГЭ} = \frac{0,059}{2} \lg \frac{p_{F_2, пр}}{p_{F_2, лев}};$$

$$в) E_{ГЭ} = \frac{0,059}{2} \lg \frac{p_{F_2, лев}}{p_{F_2, пр}};$$

$$г) E_{ГЭ} = \frac{0,059}{2} \lg \frac{a_{F^-, лев}^2}{a_{F^-, пр}^2}.$$

A36. Уравнение Нернста для расчета ЭДС концентрационного гальванического элемента с переносом, составленного из двух медных электродов первого рода, имеет вид:

$$а) E_{ГЭ} = \frac{0,059}{2} \lg \frac{a_{Cu^{2+}, пр}}{a_{Cu^{2+}, лев}};$$

$$б) E_{ГЭ} = 0,059 \lg \frac{a_{Cu^{2+}, пр}}{a_{Cu^{2+}, лев}};$$

$$в) E_{ГЭ} = 0,059 \lg \frac{a_{Cu^{2+}, лев}}{a_{Cu^{2+}, прав}};$$

$$г) E_{ГЭ} = \frac{0,059}{2} \lg \frac{a_{Cu^{2+}, лев}}{a_{Cu^{2+}, прав}}.$$

A37. Солевой мостик в гальваническом элементе служит для того, чтобы...

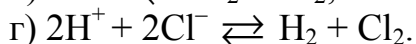
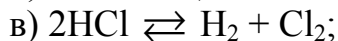
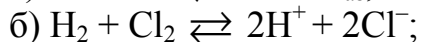
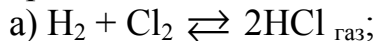
а) устранить поляризацию электродов;

б) устранить или свести к минимуму диффузионный потенциал;

в) повысить ЭДС гальванического элемента;

г) понизить ЭДС гальванического элемента.

A38. Уравнение реакции, протекающей в гальваническом элементе без переноса, составленном из газовых водородного и хлорного электродов, имеет вид:



A39. Гальванический элемент, составленный из стандартного цинкового электрода первого рода и насыщенного каломельного электрода второго рода, является:

а) химическим гальваническим элементом без переноса;

б) химическим гальваническим элементом с переносом;

в) концентрационным гальваническим элементом без переноса;

г) концентрационным гальваническим элементом с переносом.

A40. Гальванический элемент, составленный из двух никелевых электродов первого рода, является:

а) химическим гальваническим элементом без переноса;

б) химическим гальваническим элементом с переносом;

в) концентрационным гальваническим элементом без переноса;

г) концентрационным гальваническим элементом с переносом.

A41. Гальванический элемент, составленный из стандартного хлор-серебряного электрода второго рода и насыщенного каломельного электрода второго рода, является:

а) химическим гальваническим элементом без переноса;

б) химическим гальваническим элементом с переносом;

в) концентрационным гальваническим элементом без переноса;

г) концентрационным гальваническим элементом с переносом.

A42. Катодом в гальваническом элементе является электрод, имеющий:

а) большее значение стандартного электродного потенциала;

б) большее значение потенциала;

в) меньшее значение стандартного электродного потенциала;

г) меньшее значение электродного потенциала.

A43. Причиной возникновения диффузионного потенциала на границе раздела двух жидких растворов являются различия:

а) в активностях ионов в этих растворах;

б) в подвижностях катионов и анионов в этих растворах;

в) в активностях ионов и подвижностях катионов и анионов в этих растворах;

г) в природе электродов.

A44. Величина электродного потенциала не зависит от:

- а) природы электрода и концентрации соответствующего электролита;
- б) температуры;
- в) активности восстановленной формы;
- г) природы другого электрода, в паре с которым данный электрод образует гальванический элемент.

A45. Чтобы увеличить восстановительные свойства электрода $\text{KOH (p-p)}|\text{Al(OH)}_3, \text{Al}$, необходимо:

- а) разбавить раствор щелочи;
- б) добавить в сосуд с раствором гидроксид алюминия;
- в) увеличить площадь поверхности алюминиевой пластинки;
- г) добавить к раствору некоторое количество щелочи.

Уровень Б

B1. Гальванический элемент составлен из двух электродов (табл. 9). Запишите схему гальванического элемента, уравнения электродных процессов и суммарную реакцию в гальваническом элементе. Рассчитайте ЭДС гальванического элемента при температуре 298 К.

Таблица 9

Исходные данные для задачи B1

Вариант	Электрод 1	Электрод 2
1	$\text{CuSO}_4 \text{Cu}$ $m = 0,005$ моль/кг H_2O	$\text{KBr} \text{AgBr}, \text{Ag}$ $m = 0,002$ моль/кг H_2O
2	$\text{ZnSO}_4 \text{Zn}$ $m = 0,01$ моль/кг H_2O	$\text{NaCl} \text{Hg}_2\text{Cl}_2, \text{Hg}$ $m = 0,02$ моль/кг H_2O
3	$\text{ZnCl}_2 \text{Zn}$ $m = 0,002$ моль/кг H_2O	$\text{KOH} \text{Ca(OH)}_2, \text{Ca}$ $m = 0,1$ моль/кг H_2O
4	$\text{CuCl}_2 \text{Cu}$ $m = 0,005$ моль/кг H_2O	$\text{KOH} \text{Sr(OH)}_2, \text{Sr}$ $m = 0,2$ моль/кг H_2O
5	$\text{NiSO}_4 \text{Ni}$ $m = 0,1$ моль/кг H_2O	$\text{KOH} \text{Al(OH)}_3, \text{Al}$ $m = 0,5$ моль/кг H_2O
6	$\text{Pb(NO}_3)_2 \text{Pb}$ $m = 0,001$ моль/кг H_2O	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \text{Ag}_2\text{SO}_4, \text{Ag}$ $m = 0,001$ моль/кг H_2O
7	$\text{Co(NO}_3)_2 \text{Co}$ $m = 0,1$ моль/кг H_2O	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \text{Hg}_2\text{SO}_4, \text{Hg}$ $m = 0,005$ моль/кг H_2O
8	$\text{CdSO}_4 \text{Cd}$ $m = 0,005$ моль/кг H_2O	$\text{KOH} \text{Al(OH)}_3, \text{Al}$ $m = 0,1$ моль/кг H_2O
9	$\text{AlCl}_3 \text{Al}$ $m = 0,1$ моль/кг H_2O	$\text{KCl} \text{Hg}_2\text{Cl}_2, \text{Hg}$ $m = 0,05$ моль/кг H_2O
10	$\text{H}_2\text{SO}_4 \text{H}_2 (\text{Pt})$ $m = 2$ моль/кг H_2O , $p(\text{H}_2) = 1$ атм	$\text{KBr} \text{Hg}_2\text{Br}_2, \text{Hg}$ $m = 0,01$ моль/кг H_2O
11	$\text{KCl} \text{Cl}_2 (\text{Pt})$ $m = 0,1$ моль/кг H_2O , $p(\text{Cl}_2) = 1$ атм	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \text{PbSO}_4, \text{Pb}$ $m = 0,02$ моль/кг H_2O

Вариант	Электрод 1	Электрод 2
12	KF F ₂ (Pt) <i>m</i> = 0,2 моль/кг H ₂ O, <i>p</i> (F ₂) = 1 атм	Na ₂ SO ₄ Ag ₂ SO ₄ , Ag <i>m</i> = 0,05 моль/кг H ₂ O
13	H ₂ SO ₄ O ₂ (Pt) <i>m</i> = 0,1 моль/кг H ₂ O, <i>p</i> (O ₂) = 1 атм	KOH Ni(OH) ₂ , Ni <i>m</i> = 0,2 моль/кг H ₂ O
14	KOH H ₂ (Pt) <i>m</i> = 0,5 моль/кг H ₂ O, <i>p</i> (H ₂) = 1 атм	KBr AgBr, Ag <i>m</i> = 0,1 моль/кг H ₂ O
15	NaCl Cl ₂ (Pt) <i>m</i> = 0,2 моль/кг H ₂ O, <i>p</i> (Cl ₂) = 1 атм	ZnCl ₂ Zn <i>m</i> = 0,1 моль/кг H ₂ O
16	H ₂ SO ₄ H ₂ (Pt) <i>m</i> = 2 моль/кг H ₂ O, <i>p</i> (H ₂) = 1 атм	CuCl ₂ Cu <i>m</i> = 0,1 моль/кг H ₂ O
17	ZnCl ₂ Zn <i>m</i> = 0,005 моль/кг H ₂ O	KOH Ca(OH) ₂ , Ca <i>m</i> = 0,5 моль/кг H ₂ O
18	AlCl ₃ Al <i>m</i> = 0,5 моль/кг H ₂ O	Na ₂ SO ₄ Ag ₂ SO ₄ , Ag <i>m</i> = 0,2 моль/кг H ₂ O
19	CdSO ₄ Cd <i>m</i> = 0,01 моль/кг H ₂ O	ZnSO ₄ Zn <i>m</i> = 0,05 моль/кг H ₂ O
20	Co(NO ₃) ₂ Co <i>m</i> = 0,2 моль/кг H ₂ O	Pb(NO ₃) ₂ Pb <i>m</i> = 0,1 моль/кг H ₂ O
21	H ₂ SO ₄ H ₂ (Pt) <i>m</i> = 0,1 моль/кг H ₂ O, <i>p</i> (H ₂) = 1 атм	Na ₂ SO ₄ PbSO ₄ , Pb <i>m</i> = 0,005 моль/кг H ₂ O
22	KF F ₂ (Pt) <i>m</i> = 0,05 моль/кг H ₂ O, <i>p</i> (F ₂) = 1 атм	KOH Ni(OH) ₂ , Ni <i>m</i> = 0,05 моль/кг H ₂ O
23	KCl Cl ₂ (Pt) <i>m</i> = 1 моль/кг H ₂ O, <i>p</i> (Cl ₂) = 2 атм	Na ₂ SO ₄ Ag ₂ SO ₄ , Ag <i>m</i> = 0,002 моль/кг H ₂ O
24	KOH Ag ₂ O, Ag <i>m</i> = 2 моль/кг H ₂ O	HCl O ₂ (Pt) <i>m</i> = 0,1 моль/кг H ₂ O, <i>p</i> (O ₂) = 1 атм
25	H ⁺ , C ₆ H ₄ O ₂ , C ₆ H ₄ (OH) ₂ Pt рН 2	KCl Hg ₂ Cl ₂ , Hg <i>m</i> = 1 моль/кг H ₂ O
26	Pb(NO ₃) ₂ Pb <i>m</i> = 0,1 моль/кг H ₂ O	Na ₂ SO ₄ Hg ₂ SO ₄ , Hg <i>m</i> = 0,5 моль/кг H ₂ O
27	ZnSO ₄ Zn <i>m</i> = 0,01 моль/кг H ₂ O	NaCl Hg ₂ Cl ₂ , Hg <i>m</i> = 0,05 моль/кг H ₂ O
28	Co(NO ₃) ₂ Co <i>m</i> = 0,5 моль/кг H ₂ O	NaOH Ni(OH) ₂ , Ni <i>m</i> = 0,02 моль/кг H ₂ O
29	CuCl ₂ Cu <i>m</i> = 0,1 моль/кг H ₂ O	KOH Al(OH) ₃ , Al <i>m</i> = 0,002 моль/кг H ₂ O
30	NiSO ₄ Ni <i>m</i> = 0,01 моль/кг H ₂ O	Na ₂ SO ₄ Ag ₂ SO ₄ , Ag <i>m</i> = 0,05 моль/кг H ₂ O



Таблица 72 – Средние ионные коэффициенты активности сильных электролитов в водных растворах при 25°C [5];

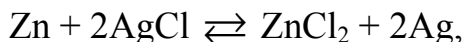
Таблица 79 – Стандартные электродные потенциалы в водных растворах при 25°C [5].



[1], с. 220, задача 4.4; [2], с. 55, пример 2.1.1.

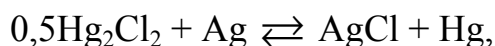
Б2. ЭДС гальванического элемента, составленного из насыщенного каломельного электрода и хингидронного электрода, равна 0,215 В при 298 К. Определите рН раствора, в котором находится хингидронный электрод.

Б3. Вычислите тепловой эффект реакции



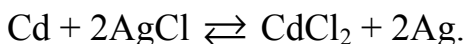
протекающей в гальваническом элементе при 273 К, если ЭДС элемента равна 1,015 В и температурный коэффициент ЭДС $dE / dT = -4,02 \cdot 10^{-4}$ В/К.

Б4. ЭДС элемента, в котором обратимо протекает реакция



равна 0,456 В при 298 К и 0,439 В при 293 К. Рассчитать ΔG , ΔH и ΔS реакции.

Б5. В гальваническом элементе при температуре 298 К протекает реакция



Рассчитайте изменение энтропии реакции, если стандартная ЭДС элемента $E^\circ = 0,6753$ В, а стандартные энтальпии образования CdCl_2 и AgCl равны $-389,7$ и $-126,9$ кДж/моль соответственно.

Б6. Рассчитайте ΔH , ΔS , ΔG и K_a при $T = 298$ К для реакции, протекающей в элементе



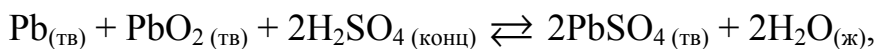
если ЭДС элемента 0,068 В, температурный коэффициент ЭДС $dE / dT = -4,99 \cdot 10^{-4}$ В/К.

Б7. ЭДС гальванического элемента



при 298 К равна 0,536 В. Вычислите изменение энтальпии, энтропии, энергии Гиббса и константу равновесия реакции, протекающей в элементе, если температурный коэффициент ЭДС $dE / dT = 1,45 \cdot 10^{-4}$ В/К.

Б8. Рассчитайте стандартную ЭДС свинцового аккумулятора, в котором протекает реакция



на основании справочных термодинамических данных для участников реакции.

Б9. При каком отношении активностей ионов Fe^{3+} и Fe^{2+} электродный потенциал окислительно-восстановительного железного электрода будет равен нулю?

Уровень В

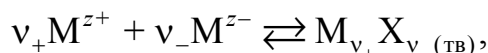
В1. Гальванический элемент составлен из двух водородных электродов, опущенных в 0,1 моль/дм³ раствор HCl. На один из электродов поступает чистый водород при $p = 1$ атм, а на другой – смесь аргона и водорода при общем давлении $p = 1$ атм. Чему равна молярная доля водорода в смеси, если при 25°C ЭДС элемента составляет 10 мВ? Какой электрод является анодом?

В2. Вычислите ЭДС гальванического элемента (при 298 К):



$$p = 2 \text{ атм} \quad C = 1 \text{ моль/л} \quad C = 1 \text{ моль/л} \quad p = 2 \text{ атм}$$

В3. Составьте схему гальванического элемента, в котором при $T = 298$ К имеет место гетерогенное равновесие



где $M_{v_+} X_{v_-(\text{ТВ})}$ – малорастворимое соединение (табл. 10). Запишите уравнения электродных процессов и реакции в элементе.

Таблица 10

Исходные данные для задачи В3

Вариант	Соединение	Вариант	Соединение	Вариант	Соединение
1	AgBrO ₃	11	PbBr ₂	21	Hg ₂ Br ₂
2	Ag ₂ SO ₄	12	PbSO ₄	22	Hg ₂ SO ₄
3	Ca(OH) ₂	13	Zn(OH) ₂	23	Fe(OH) ₂
4	Cd(OH) ₂	14	Al(OH) ₃	24	Ag ₂ SO ₄
5	CuCl	15	Ag ₂ CrO ₄	25	Ni(OH) ₂
6	CuI	16	Ni(OH) ₂	26	CuCl
7	Fe(OH) ₂	17	Ag ₂ S	27	AgBrO ₃
8	Hg ₂ Br ₂	18	Hg ₂ I ₂	28	Cd(OH) ₂
9	Hg ₂ Cl ₂	19	AgCl	29	Ag ₂ S
10	Hg ₂ SO ₄	20	AgBr	30	Zn(OH) ₂



Таблица 79 – Стандартные электродные потенциалы в водных растворах при 25°C [5].



[2], с. 60, пример 2.1.5.

В4. Даны два одинаковых электрода, опущенных в растворы электролита с различной средней ионной активностью $a_{\pm 1}$ и $a_{\pm 2}$ (табл. 11). Составьте из этих электродов концентрационный гальванический элемент с переносом.

Исходные данные для задачи В4

Вариант	Электрод	$a_{\pm 1}$	$a_{\pm 2}$
1	AlCl ₃ Al	0,1	0,01
2	CuCl ₂ Cu	0,1	0,2
3	Pb(NO ₃) ₂ Pb	0,01	0,1
4	ZnCl ₂ Zn	0,1	1,0
5	Na ₂ SO ₄ PbSO ₄ , Pb	0,5	0,1
6	Na ₂ S PbS, Pb	0,1	0,2
7	KOH Al(OH) ₃ , Al	0,05	0,5
8	KI PbI ₂ , Pb	0,1	0,01
9	KCl Hg ₂ Cl ₂ , Hg	0,1	1,0
10	KOH Ni(OH) ₂ , Ni	0,5	0,1
11	KOH O ₂ (Pt) ($p_{O_2} = 1$ атм)	0,2	0,1
12	NaF F ₂ (Pt) ($p_{F_2} = 1$ атм)	0,1	1,0
13	HCl Cl ₂ (Pt) ($p_{Cl_2} = 1$ атм)	0,01	0,5
14	KOH Ag ₂ O, Ag	0,05	2,0
15	Pb(NO ₃) ₂ Pb	0,1	1,0
16	Co(NO ₃) ₂ Co	0,05	0,5
17	H ₂ SO ₄ H ₂ (Pt) ($p_{H_2} = 1$ атм)	0,1	0,5
18	CdSO ₄ Cd	0,02	0,2
19	AlCl ₃ Al	0,2	1,0
20	NiSO ₄ Ni	0,1	1,0
21	CuSO ₄ Cu	0,01	0,2
22	ZnCl ₂ Zn	0,02	0,5
23	KCl AgCl, Ag	0,05	1,0
24	Pb(NO ₃) ₂ Pb	0,02	0,2
25	ZnCl ₂ Zn	0,2	0,5
26	Na ₂ SO ₄ PbSO ₄ , Pb	0,2	1,0
27	Na ₂ S PbS, Pb	0,1	0,5
28	KOH Al(OH) ₃ , Al	0,1	2,0
29	KI PbI ₂ , Pb	0,02	0,5
30	AlCl ₃ Al	0,01	0,2

§ [2], с. 73–78, примеры 2.2.5–2.2.8.

Запишите уравнения Нернста для электродных потенциалов и получите выражение для ЭДС. Объясните, что является движущей силой генерации тока в элементе. С помощью принципа Ле Шателье поясните, как изменится величина ЭДС при увеличении концентрации анодного раствора.

В5. Для элементов, приведенных в табл. 12, составьте схему распределения зарядов в результате диффузионного потока на границе

раздела двух растворов, контактирующих посредством пористой перегородки, и определите знак диффузионного потенциала.

Таблица 12

Исходные данные для задачи В5

Вариант	Элемент
1	Pb, PbI ₂ KI : KI PbI ₂ , Pb
2	Al AlCl ₃ : AlCl ₃ Al
3	Ag, AgI HI : HI AgI, Ag
4	Hg, Hg ₂ Cl ₂ HCl : HCl Hg ₂ Cl ₂ , Hg
5	Pb, Pb(OH) ₂ KOH : KOH Pb(OH) ₂ , Pb
6	Al, Al(OH) ₃ KOH : KOH Al(OH) ₃ , Al
7	Pb Pb(NO ₃) ₂ : Pb(NO ₃) ₂ Pb
8	(Pt) Cl ₂ HCl : HCl Cl ₂ (Pt); p _{Cl₂} = 1 атм
9	Pb, PbBr ₂ NaBr : NaBr PbBr ₂ , Pb
10	(Pt) O ₂ KOH : KOH O ₂ (Pt); p _{O₂} = 1 атм
11	Pb, PbSO ₄ Na ₂ SO ₄ : Na ₂ SO ₄ PbSO ₄ , Pb
12	Zn ZnCl ₂ : ZnCl ₂ Zn
13	Ag, AgCl KCl : KCl AgCl, Ag
14	Cu CuSO ₄ : CuSO ₄ Cu
15	(Pt) H ₂ H ₂ SO ₄ : H ₂ SO ₄ H ₂ (Pt); p _{H₂} = 1 атм
16	Co Co(NO ₃) ₂ : Co(NO ₃) ₂ Co
17	Pb, PbBr ₂ KBr : KBr PbBr ₂ , Pb
18	Al Al ₂ (SO ₄) ₃ : Al ₂ (SO ₄) ₃ Al
19	(Pt) H ₂ HCl : HCl H ₂ (Pt); p _{H₂} = 1 атм
20	Hg, Hg ₂ Cl ₂ NaCl : NaCl Hg ₂ Cl ₂ , Hg
21	Pb, Pb(OH) ₂ NaOH : NaOH Pb(OH) ₂ , Pb
22	Co CoCl ₂ : CoCl ₂ Co
23	Pb Pb(NO ₃) ₂ : Pb(NO ₃) ₂ Pb
24	(Pt) Cl ₂ KCl : KCl Cl ₂ (Pt); p _{Cl₂} = 1 атм
25	Pb, PbBr ₂ KBr : KBr PbBr ₂ , Pb
26	(Pt) O ₂ H ₂ SO ₄ : H ₂ SO ₄ O ₂ (Pt); p _{O₂} = 1 атм
27	Pb, PbSO ₄ H ₂ SO ₄ : H ₂ SO ₄ PbSO ₄ , Pb
28	Zn ZnSO ₄ : ZnSO ₄ Zn
29	Ag, AgCl HCl : HCl AgCl, Ag
30	Cu CuCl ₂ : CuCl ₂ Cu



СДО БГТУ → Кафедра физической и коллоидной химии → Курсы «Физическая химия 3 курс» или «Физическая химия 4 курс (заочный факультет)» → Раздел «Тестовый самоконтроль» → Тест «Химическая кинетика».

Предмет изучения и практическая значимость химической кинетики. Понятие о скорости и константе скорости химической реакции. Постулат химической кинетики. Понятие о механизме реакции. Порядок реакции. Молекулярность элементарной реакции. Кинетическая классификация необратимых гомогенных химических реакций.

Кинетически необратимые реакции нулевого, первого, второго, третьего и n -го порядка. Кинетические уравнения этих реакций. Период полупревращения исходного вещества. Экспериментальные методы определения константы скорости и порядка реакции.

Зависимость скорости и константы скорости химической реакции от температуры. Правило Вант – Гоффа. Уравнение Аррениуса. Истинная и кажущаяся энергия активации, ее связь с тепловым эффектом реакции. Методы определения энергии активации и предэкспоненциального множителя в уравнении Аррениуса из опытных кинетических данных.

Уровень А

A1. Принято считать, что скорость химической реакции...

- а) всегда положительная;
- б) всегда отрицательная;
- в) может быть как положительной, так и отрицательной величиной;
- г) положительная для продуктов реакции и отрицательная для исходных реагентов.

A2. Скорость химической реакции при увеличении температуры...

- а) увеличивается;
- б) уменьшается;
- в) не изменяется;
- г) сначала увеличивается, а затем не изменяется.

A3. При увеличении концентрации исходных веществ скорость необратимой химической реакции...

- а) увеличивается;
- б) не изменяется;
- в) уменьшается;
- г) сначала увеличивается, а затем не изменяется.

A4. Порядок реакции (общий и частный):

- а) всегда положительный;
- б) всегда целое число;
- в) всегда дробное число;
- г) может быть как целым, так и дробным, как положительным, так

и отрицательным.

A5. Скорость химической реакции не зависит от:

- а) температуры;
- б) давления реагирующих веществ;
- в) концентраций участников реакции;
- г) стехиометрических коэффициентов в уравнении реакции.

A6. Константа скорости химической реакции не зависит от:

- а) температуры;
- б) давления веществ;
- в) природы участников реакции;
- г) концентрации участников реакции.

A7. Молекулярность элементарной реакции:

- а) всегда целое положительное число;
- б) может быть как положительной, так и отрицательной;
- в) может быть целой или дробной;
- г) может быть равна нулю.

A8. Интегральная форма кинетического уравнения необратимой реакции первого порядка имеет вид:

а) $kt = C_0 - C$;

б) $kt = \ln \frac{C_0}{C}$;

$$\text{в) } kt = \frac{1}{C} - \frac{1}{C_0};$$

$$\text{г) } kt = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{C^2} - \frac{1}{C_0^2} \right).$$

A9. Интегральная форма кинетического уравнения необратимой реакции второго порядка $A + B \rightarrow C$ (начальные концентрации исходных веществ одинаковы) имеет вид:

$$\text{а) } kt = C_0 - C;$$

$$\text{б) } kt = \ln \frac{C_0}{C};$$

$$\text{в) } kt = \frac{1}{C} - \frac{1}{C_0};$$

$$\text{г) } kt = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{C^2} - \frac{1}{C_0^2} \right).$$

A10. Интегральная форма кинетического уравнения необратимой реакции третьего порядка $A + B + C \rightarrow D + E$ (начальные концентрации всех исходных веществ одинаковы) имеет вид:

$$\text{а) } kt = C_0 - C;$$

$$\text{б) } kt = \ln \frac{C_0}{C};$$

$$\text{в) } kt = \frac{1}{C} - \frac{1}{C_0};$$

$$\text{г) } kt = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{C^2} - \frac{1}{C_0^2} \right).$$

A11. Интегральная форма кинетического уравнения необратимой реакции нулевого порядка $A \rightarrow B$ имеет вид:

$$\text{а) } kt = C_0 - C;$$

$$\text{б) } kt = \ln \frac{C_0}{C};$$

$$\text{в) } kt = \frac{1}{C} - \frac{1}{C_0};$$

$$\text{г) } kt = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{C^2} - \frac{1}{C_0^2} \right).$$

A12. Выражение, с помощью которого можно рассчитать величину периода полупревращения исходного реагента в необратимой реакции нулевого порядка, имеет вид:

а) $\tau_{1/2} = \frac{C_0}{2k}$;

б) $\tau_{1/2} = \frac{\ln 2}{k}$;

в) $\tau_{1/2} = \frac{1}{C_0 k}$;

г) $\tau_{1/2} = \frac{3}{2C_0^2 k}$.

A13. Выражение, с помощью которого можно рассчитать величину периода полупревращения исходного реагента в необратимой реакции первого порядка $A \rightarrow B + D$, имеет вид:

а) $\tau_{1/2} = \frac{C_0}{2k}$;

б) $\tau_{1/2} = \frac{\ln 2}{k}$;

в) $\tau_{1/2} = \frac{1}{C_0 k}$;

г) $\tau_{1/2} = \frac{3}{2C_0^2 k}$.

A14. Выражение, с помощью которого можно рассчитать величину периода полупревращения исходного реагента в необратимой реакции второго порядка $A + B \rightarrow C$ (начальные концентрации исходных реагентов одинаковы), имеет вид:

а) $\tau_{1/2} = \frac{C_0}{2k}$;

б) $\tau_{1/2} = \frac{\ln 2}{k}$;

в) $\tau_{1/2} = \frac{1}{C_0 k}$;

г) $\tau_{1/2} = \frac{3}{2C_0^2 k}$.

A15. Выражение, с помощью которого можно рассчитать величину периода полупревращения исходного реагента в необратимой

реакции третьего порядка $A + B + C \rightarrow D$ (начальные концентрации всех исходных реагентов одинаковы), имеет вид:

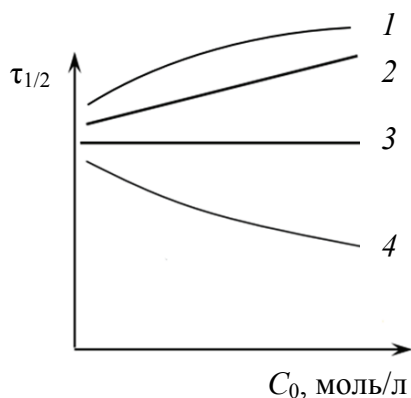
а) $\tau_{1/2} = \frac{C_0}{2k}$;

б) $\tau_{1/2} = \frac{\ln 2}{k}$;

в) $\tau_{1/2} = \frac{1}{C_0 k}$;

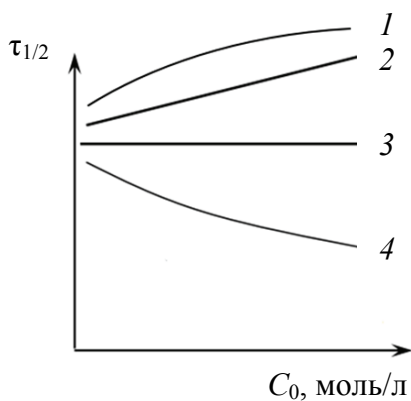
г) $\tau_{1/2} = \frac{3}{2C_0^2 k}$.

A16. Для необратимой реакции нулевого порядка зависимость периода полупревращения $\tau_{1/2}$ исходного реагента от его начальной концентрации имеет вид:



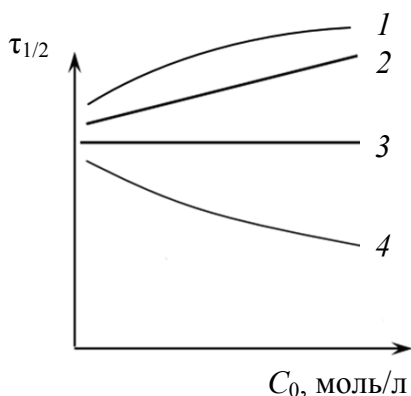
- а) 1;
 б) 2;
 в) 3;
 г) 4.

A17. Для необратимой реакции первого порядка зависимость периода полупревращения $\tau_{1/2}$ исходного реагента от его начальной концентрации имеет вид:



- а) 1;
- б) 2;
- в) 3;
- г) 4.

A18. Для необратимой реакции второго порядка зависимость периода полупревращения $\tau_{1/2}$ исходного реагента от его начальной концентрации имеет вид:



- а) 1;
- б) 2;
- в) 3;
- г) 4.

A19. Для необратимой реакции нулевого порядка величина периода полупревращения исходного реагента при увеличении его начальной концентрации...

- а) не изменяется;
- б) увеличивается;
- в) уменьшается.

A20. Для необратимой реакции первого порядка величина периода полупревращения исходного реагента при увеличении его начальной концентрации...

- а) не изменяется;
- б) увеличивается;
- в) уменьшается.

A21. Для необратимой реакции второго порядка величина периода полупревращения исходного реагента при увеличении его начальной концентрации...

- а) не изменяется;
- б) увеличивается;
- в) уменьшается.

A22. В соответствии с правилом Вант – Гоффа при увеличении температуры на 10 градусов скорость (константа скорости) химической реакции...

- а) увеличивается в 2–4 раза;
- б) уменьшается в 2–4 раза;
- в) увеличивается в 10 раз;
- г) уменьшается в 5 раз.

A23. Константа скорости химической реакции нулевого порядка может измеряться в:

- а) мин^{-1} ;
- б) $\text{моль} \cdot \text{л}^{-1} \cdot \text{мин}^{-1}$;
- в) $\text{л} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{мин}^{-1}$;
- г) $\text{л}^2 \cdot \text{моль}^{-2} \cdot \text{мин}^{-1}$.

A24. Константа скорости химической реакции первого порядка может измеряться в:

- а) мин^{-1} ;
- б) $\text{моль} \cdot \text{л}^{-1} \cdot \text{мин}^{-1}$;
- в) $\text{л} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{мин}^{-1}$;
- г) $\text{л}^2 \cdot \text{моль}^{-2} \cdot \text{мин}^{-1}$.

A25. Константа скорости химической реакции второго порядка может измеряться в:

- а) мин^{-1} ;
- б) $\text{моль} \cdot \text{л}^{-1} \cdot \text{мин}^{-1}$;
- в) $\text{л} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{мин}^{-1}$;
- г) $\text{л}^2 \cdot \text{моль}^{-2} \cdot \text{мин}^{-1}$.

A26. Константа скорости химической реакции третьего порядка может измеряться в:

- а) мин^{-1} ;
- б) $\text{моль} \cdot \text{л}^{-1} \cdot \text{мин}^{-1}$;
- в) $\text{л} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{мин}^{-1}$;
- г) $\text{л}^2 \cdot \text{моль}^{-2} \cdot \text{мин}^{-1}$.

A27. При увеличении температуры величина периода полупревращения исходного реагента для необратимой реакции...

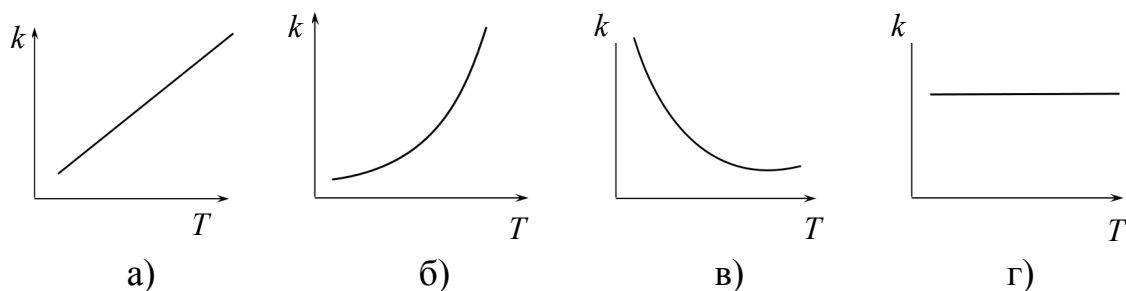
- а) не изменяется;
- б) увеличивается;
- в) уменьшается.

A28. К интегральным методам определения порядка реакции относятся:

- а) метод подбора кинетического уравнения и графический метод линеаризации;

- б) метод подбора кинетического уравнения и метод Вант – Гоффа;
 в) метод Вант – Гоффа и графический метод линеаризации.

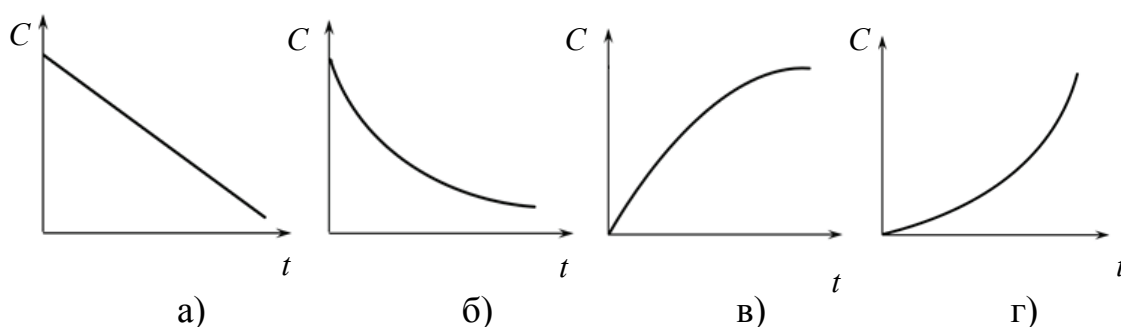
A29. Зависимость константы скорости химической реакции от температуры имеет вид:



A30. Определение порядка реакции методом подбора кинетического уравнения основано на том, что:

- а) константа скорости химической реакции зависит от концентрации исходных реагентов;
 б) константа скорости химической реакции не зависит от концентрации исходных реагентов;
 в) константа скорости химической реакции зависит от температуры;
 г) константа скорости химической реакции не зависит от температуры.

A31. Зависимость концентрации исходного реагента от времени для необратимой реакции нулевого порядка имеет вид:



- A32.** Добавление катализатора в реакцию приводит к:
 а) увеличению энергии активации реакции;
 б) смещению положения химического равновесия в сторону продуктов реакции;
 в) увеличению скорости химической реакции;
 г) уменьшению константы скорости прямой реакции.

- A33.** Добавление в систему катализатора приводит к:
 а) смещению положения химического равновесия в сторону продуктов реакции;
 б) смещению положения химического равновесия в сторону исходных реагентов;

- в) ускорению достижения химического равновесия в системе;
- г) увеличению энергии активации реакции.

A34. Добавление в систему катализатора...

а) увеличивает скорость прямой и уменьшает скорость обратной реакции;

б) уменьшает скорость прямой и увеличивает скорость обратной реакции;

в) увеличивает скорость как прямой, так и обратной реакции;

г) не влияет на скорость прямой и обратной реакции.

A35. Константа скорости необратимой реакции второго порядка уменьшается при:

а) понижении температуры;

б) уменьшении концентрации исходных реагентов;

в) уменьшении давления;

г) введении в систему катализатора.

A36. Необратимая реакция имеет первый порядок, если линейной является зависимость:

а) $C = f(t)$;

б) $\ln C = f(t)$;

в) $1/C = f(t)$;

г) $1/C^2 = f(t)$.

A37. Необратимая реакция имеет второй порядок, если линейной является зависимость:

а) $C = f(t)$;

б) $\ln C = f(t)$;

в) $1/C = f(t)$;

г) $1/C^2 = f(t)$.

A38. Необратимая реакция имеет нулевой порядок, если линейной является зависимость:

а) $C = f(t)$;

б) $\ln C = f(t)$;

в) $1/C = f(t)$;

г) $1/C^2 = f(t)$.

A39. Необратимая реакция имеет третий порядок, если линейной является зависимость:

а) $C = f(t)$;

б) $\ln C = f(t)$;

в) $1/C = f(t)$;

г) $1/C^2 = f(t)$.

A40. При увеличении температуры порядок химической реакции...

а) увеличивается;

- б) уменьшается;
- в) не изменяется.

A41. Если период полупревращения исходного реагента химической реакции не изменяется при изменении начальных концентраций исходных реагентов, то реакция имеет порядок:

- а) нулевой;
- б) первый;
- в) второй;
- г) третий.

A42. Для обратимой эндотермической реакции...

- а) энергия активации прямой реакции больше, чем обратной;
- б) энергия активации прямой реакции меньше, чем обратной;
- в) константа равновесия больше единицы;
- г) скорость прямой реакции не зависит от температуры.

A43. Если для обратимой реакции энергия активации прямой реакции меньше, чем обратной, то реакция...

- а) протекает с выделением тепла;
- б) протекает с поглощением тепла;
- в) характеризуется тепловым эффектом, равным нулю;
- г) является гомогенной.

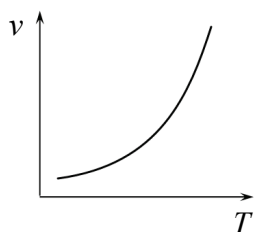
A44. Если период полупревращения исходного реагента не изменяется при уменьшении его концентрации, то реакция имеет порядок:

- а) нулевой;
- б) первый;
- в) второй;
- г) третий.

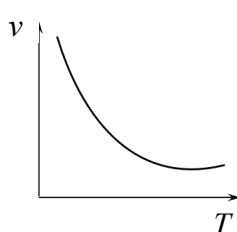
A45. Если с течением времени скорость химической реакции увеличивается, то эта реакция...

- а) необратимая;
- б) обратимая;
- в) автокаталитическая;
- г) элементарная.

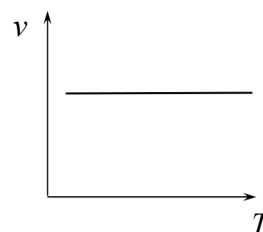
A46. Для автокаталитической реакции зависимость скорости реакции от времени имеет вид:



а)



б)



в)

A47. Скорость необратимой реакции уменьшается при:

- а) увеличении температуры;
- б) увеличении концентрации продуктов реакции;
- в) уменьшении концентрации исходных реагентов;
- г) увеличении концентрации исходных реагентов.

A48. Увеличение концентрации продуктов обратимой реакции...

- а) увеличивает скорость прямой реакции;
- б) уменьшает скорость прямой реакции;
- в) уменьшает скорость обратной реакции;
- г) увеличивает скорость обратной реакции.

A49. Константа скорости химической реакции зависит от следующих факторов:

- а) время, температура, концентрация участников реакции;
- б) концентрация участников реакции, температура;
- в) время, механизм реакции, температура;
- г) механизм реакции, температура.

A50. Если температура, константы скорости реакции и начальные концентрации исходных веществ одинаковы, то реакция ... порядка завершится раньше:

- а) нулевого;
- б) первого;
- в) второго;
- г) третьего.

Уровень Б

Б1. По уравнению Аррениуса рассчитать константу скорости и период полупревращения исходного реагента гомогенной необратимой реакции n -го порядка при температуре T , используя данные о предэкспоненциальном множителе A и энергии активации E_A (табл. 13). Начальные концентрации исходных веществ одинаковы и равны 1 моль/л.

Таблица 13

Исходные данные для задачи Б1

Вариант	n	T, K	$A, (\text{моль} \cdot \text{л}^{-1})^{1-n} \cdot \text{с}^{-1}$	$E_A, \text{кДж/моль}$
1	1	300	$7,2 \cdot 10^9$	218,0
2	1	420	$4,0 \cdot 10^{11}$	247,5
3	2	550	$1,6 \cdot 10^7$	94,2
4	2	340	$4,2 \cdot 10^{10}$	180,5

Вариант	n	T, K	$A, (\text{моль} \cdot \text{л}^{-1})^{1-n} \cdot \text{с}^{-1}$	$E_A, \text{кДж/моль}$
5	2	460	$1,6 \cdot 10^{11}$	165,5
6	2	370	$2,2 \cdot 10^{11}$	140,0
7	1	440	$1,3 \cdot 10^9$	207,8
8	1	520	$3,2 \cdot 10^9$	201,0
9	1	420	$1,3 \cdot 10^{12}$	185,5
10	3	360	$2,7 \cdot 10^7$	54,4
11	2	410	$2,0 \cdot 10^{11}$	140,0
12	2	370	$9,2 \cdot 10^{10}$	186,4
13	3	460	$4,6 \cdot 10^7$	45,5
14	1	390	$4,2 \cdot 10^{10}$	103,5
15	2	410	$9,4 \cdot 10^9$	112,6
16	1	520	$1,2 \cdot 10^{13}$	54,4
17	1	430	$4,9 \cdot 10^9$	175,8
18	1	490	$1,5 \cdot 10^{12}$	272,8
19	2	320	$5,7 \cdot 10^7$	120,6
20	2	370	$3,1 \cdot 10^9$	95,6
21	1	320	$7,0 \cdot 10^9$	210,0
22	1	400	$4,2 \cdot 10^{11}$	250,0
23	2	540	$1,5 \cdot 10^7$	94,4
24	2	330	$4,6 \cdot 10^{10}$	182,0
25	2	440	$1,3 \cdot 10^{11}$	155,0
26	2	390	$2,0 \cdot 10^{11}$	150,5
27	1	450	$1,4 \cdot 10^9$	200,5
28	1	500	$3,0 \cdot 10^9$	190,8
29	1	430	$1,8 \cdot 10^{12}$	170,1
30	3	350	$2,6 \cdot 10^7$	60,2

§ [4], с. 29, пример 2.

Б2. В табл. 14 для некоторой необратимой гомогенной реакции



приведены значения констант скорости k_1 и k_2 при двух различных значениях температуры T_1 и T_2 . Рассчитать энергию активации реакции, константу скорости и период полупревращения исходного реагента при температуре T_3 . Начальная концентрация вещества А равна 0,5 моль/л, порядок реакции – n , размерность соответствующих констант скорости $(\text{моль} \cdot \text{л}^{-1})^{1-n} \cdot \text{мин}^{-1}$.

Исходные данные для задачи Б2

Вариант	T_1 , К	k_1	T_2 , К	k_2	T_3 , К	n
1	300	$4,12 \cdot 10^{-3}$	500	23,6	400	2
2	350	$2,56 \cdot 10^{-4}$	650	12,2	500	3
3	400	$1,24 \cdot 10^{-4}$	600	0,258	500	3
4	450	$7,68 \cdot 10^{-3}$	550	1,12	500	2
5	500	$3,45 \cdot 10^{-3}$	550	0,0456	525	1
6	550	$2,46 \cdot 10^{-4}$	650	$5,64 \cdot 10^{-3}$	750	1
7	600	0,234	700	2,66	800	3
8	650	0,869	750	12,4	700	3
9	700	1,08	800	8,64	750	3
10	750	$3,45 \cdot 10^{-3}$	800	0,0112	770	1
11	800	0,268	850	0,765	820	3
12	850	$8,76 \cdot 10^{-3}$	870	0,0135	890	2
13	900	$7,54 \cdot 10^{-5}$	980	$3,12 \cdot 10^{-4}$	1100	1
14	950	$3,08 \cdot 10^{-3}$	960	$4,52 \cdot 10^{-3}$	1000	1
15	1000	0,268	1050	0,458	950	2
16	1050	1,24	1150	3,54	950	2
17	1100	12,4	1150	23,4	850	2
18	1150	23,5	1200	45,6	850	1
19	1200	56,8	1000	12,5	800	3
20	300	$6,02 \cdot 10^{-5}$	600	0,429	500	2
21	500	$4,4 \cdot 10^{-3}$	700	26,5	400	2
22	450	$1,8 \cdot 10^{-4}$	750	10,4	500	3
23	500	$1,5 \cdot 10^{-4}$	800	0,8	500	3
24	550	$7,6 \cdot 10^{-3}$	650	1,5	500	2
25	600	$3,0 \cdot 10^{-3}$	650	0,05	525	1
26	650	$2,1 \cdot 10^{-4}$	750	$5,5 \cdot 10^{-3}$	750	1
27	700	0,35	800	2,8	800	3
28	750	0,75	850	14,2	700	3
29	800	1,2	900	9,7	750	3
30	850	$2,8 \cdot 10^{-3}$	900	0,014	770	1

§ [4], с. 30, пример 4.

Б3. Для необратимой гомогенной реакции, приведенной в табл. 15, записать постулат химической кинетики и дифференциальные выражения для скоростей реакции по всем веществам. Частные порядки по реагентам равны n_i .

Изобразить схематически на одном рисунке:

- зависимость концентрации участников реакции А и D от времени;
- зависимость скорости реакции по веществам А и D от времени.

Исходные данные для задачи В2

Вариант	Реакция	Порядок по реагентам n_i	Вариант	Реакция	Порядок по реагентам n_i
1	$A \rightarrow B + 2D$	$n_A = 2$	16	$A + 2B \rightarrow \rightarrow 0,5D + E$	$n_A = 2$ $n_B = 1$
2	$A + 2B \rightarrow 3D$	$n_A = 1$ $n_B = 2$	17	$A + 0,5B \rightarrow D$	$n_A = 1$ $n_B = 1$
3	$3A \rightarrow D + E$	$n_A = 2$	18	$2A + 0,5B \rightarrow \rightarrow D + F$	$n_A = 2$ $n_B = 1$
4	$A + B \rightarrow 3D$	$n_A = 1$ $n_B = 0$	19	$A + 1,5B \rightarrow 2D$	$n_A = 0$ $n_B = 1$
5	$2A + B \rightarrow D + E$	$n_A = 2$ $n_B = 2$	20	$0,5A + B \rightarrow \rightarrow 2D + F$	$n_A = 2$ $n_B = 1$
6	$2A \rightarrow D$	$n_A = 1$	21	$A \rightarrow B + 2D$	$n_A = 0$
7	$A + 0,5B \rightarrow \rightarrow 2D + E$	$n_A = 0$ $n_B = 1$	22	$A + 0,5B \rightarrow \rightarrow 2D + E$	$n_A = 1$ $n_B = 1$
8	$3A \rightarrow B + 2D$	$n_A = 3$	23	$3A \rightarrow D + E$	$n_A = 2$
9	$A + 1,5B \rightarrow D$	$n_A = 1$ $n_B = 2$	24	$A + B \rightarrow 3D$	$n_A = 1$ $n_B = 2$
10	$0,5A + B \rightarrow D + E$	$n_A = 1$ $n_B = 1$	25	$2A + 0,5B \rightarrow \rightarrow D + 2E$	$n_A = 1$ $n_B = 0$
11	$A \rightarrow 2D + E$	$n_A = 0$	26	$A + 2B \rightarrow 3D$	$n_A = 1$ $n_B = 1$
12	$2A + 0,5B \rightarrow \rightarrow D + 2E$	$n_A = 1$ $n_B = 1$	27	$2A + B \rightarrow D$	$n_A = 2$ $n_B = 1$
13	$A + B \rightarrow 1,5D + F$	$n_A = 1$ $n_B = 2$	28	$0,5A + B \rightarrow \rightarrow D + E$	$n_A = 1$ $n_B = 1$
14	$2A \rightarrow 2D + F$	$n_A = 2$	29	$A + 1,5B \rightarrow D$	$n_A = 1$ $n_B = 3$
15	$2A + B \rightarrow 2D$	$n_A = 0$ $n_B = 1$	30	$2A \rightarrow D$	$n_A = 1$

Б4. Превращение перекиси бензоила в диэтиловый эфир является реакцией первого порядка. При $t = 60^\circ\text{C}$ за 10 мин прореагировало 75% перекиси бензоила. Найдите константу скорости реакции. Сколько исходного вещества (в процентах по отношению к его первоначальному содержанию) останется в реакционной смеси через 15 мин после начала реакции?

Б5. Реакция $A \rightarrow B + C$ протекает по первому порядку. Исходная концентрация вещества А равнялась 0,1 моль/л. Через 20 мин после начала реакции прореагировало 10% вещества А. Найдите константу скорости реакции, период полупревращения вещества А и время (в минутах), за которое прореагирует 80% вещества А.

Б6. Реакция $A \rightarrow 2B$ протекает по второму порядку. Исходная концентрация вещества A равнялась $0,01$ моль/л. Через 1 ч после начала реакции прореагировало 20% вещества A . Найдите константу скорости реакции, период полупревращения вещества A и время (в часах), к которому в реакционной смеси останется 40% вещества A .

Б7. Реакция $A \rightarrow B$ протекает по нулевому порядку. Исходная концентрация вещества A равнялась $0,001$ моль/л. Через 2 ч после начала реакции прореагировало 20% вещества A . Найдите константу скорости реакции, период полупревращения вещества A и остаток вещества A в реакционной смеси через $2,5$ ч после начала реакции.

Б8. Константа скорости реакции второго порядка $2HI \rightarrow H_2 + I_2$ равна $3,34 \cdot 10^{-2}$ л/(моль·с) при $T = 781$ К. Найдите период полупревращения HI для его исходной концентрации, равной $0,001$ моль/л. Через сколько секунд после начала реакции прореагирует 10% йодоводорода? Сколько процентов исходного вещества останется в системе через 10 мин после начала реакции?

Б9. Константа скорости реакции второго порядка $CH_3CHO \rightarrow CH_4 + CO$ равна $24,56$ л/(моль·с) при $T = 647$ К. Исходная концентрация уксусного альдегида равнялась $0,0001$ моль/л. Найдите период полупревращения уксусного альдегида. Сколько времени потребуется для того, чтобы прореагировало 90% исходного вещества? Сколько процентов исходного вещества прореагирует через 20 мин после начала реакции?

Б10. Константа скорости реакции первого порядка $N_2O_5 \rightarrow N_2O_4 + 0,5O_2$ равна $4,84 \cdot 10^{-3}$ с⁻¹ при температуре $65^\circ C$. Найдите период полупревращения пентаоксида азота. Сколько процентов исходного вещества прореагирует через 1 ч после начала реакции? Сколько времени (в секундах и часах) потребуется для того, чтобы в системе осталось 10% исходного вещества?

Б11. Константа скорости реакции второго порядка $2HI \rightarrow H_2 + I_2$ равна $2,48 \cdot 10^{-3}$ л/(моль·с) при температуре $443^\circ C$. Найдите период полупревращения HI для его исходной концентрации, равной $0,0001$ моль/л, и время, за которое прореагирует 20% йодоводорода (в секундах и сутках). Сколько процентов исходного вещества останется в системе через 100 ч после начала реакции?

Б12. В водном растворе протекает реакция второго порядка по уравнению $A + B \rightarrow D$. Исходные концентрации веществ A и B были взяты одинаковыми и равными $0,01$ моль/л. За 1 ч от начала реакции прореагировало 20% вещества A . Найдите константу скорости реакции, период полупревращения вещества A и время (в часах), за которое прореагирует 90% вещества A .

Б13. Радиоактивность атомов полония уменьшается за 14 сут на 6,85% от исходного уровня радиоактивности. Определите величину радиоактивности атомов полония по отношению к первоначальному уровню через 30 сут.

Б14. Концентрация радиоактивных атомов трития (сверхтяжелого изотопа водорода) в воздухе составляет приблизительно $5 \cdot 10^{-15}$ моль/л. Период полураспада атомов изотопа равен около 12 лет. Через сколько лет распадется 90% трития, содержащегося в воздухе? Пополнение содержания атомов трития в воздухе за счет реакций синтеза не учитывать.

Б15. Рассчитайте, во сколько раз увеличится константа скорости гомогенной газовой реакции $C_2H_5Br \rightarrow C_2H_4 + HBr$ при изменении температуры от 100 до 120°C. Энергия активации реакции равна 218,0 кДж/моль.

Б16. Гомогенная газовой реакция $C_2H_5Cl \rightarrow C_2H_4 + HCl$ имеет энергию активации, равную 247,5 кДж/моль. Во сколько раз увеличится константа скорости этой реакции при изменении температуры от 80 до 100°C?

Б17. Энергия активации гомогенной газовой реакции третьего порядка $NO + Br_2 \rightarrow 2NOBr$ равна 5,44 кДж/моль. Во сколько раз увеличится константа скорости этой реакции при изменении температуры от -8 до 0°C?

Б18. Энергия активации гомогенной газовой реакции второго порядка $2HI \rightarrow H_2 + I_2$ равна 185,98 кДж/моль. При температуре 356°C константа скорости реакции равна $3,02 \cdot 10^{-8}$ (л/моль)·с⁻¹. Рассчитайте константу скорости реакции при температуре 283°C.

Б19. Энергия активации гомогенной газовой реакции первого порядка $N_2O_5 \rightarrow N_2O_4 + 0,5O_2$ равна 103,39 кДж/моль. При температуре 110°C константа скорости реакции равна $1,36 \cdot 10^{-4}$ (л/моль)·с⁻¹. Рассчитайте константу скорости реакции при температуре 140°C.

Б20. Энергия активации гомогенной газовой реакции второго порядка $CH_3CHO \rightarrow CH_4 + CO$ равна 138,9 кДж/моль. При температуре 358°C константа скорости реакции равна $1,23 \cdot 10^{-2}$ (л/моль)·с⁻¹. Рассчитайте константу скорости реакции при температуре 423°C.

Б21. Рассчитайте энергию активации реакции $CH_3CHO \rightarrow CH_4 + CO$ на основании следующих данных: при $T_1 = 631$ К $k_1 = 12,3$ (л/моль)·с⁻¹, при $T_2 = 696$ К $k_2 = 144,0$ (л/моль)·с⁻¹.

Б22. Рассчитайте энергию активации реакции $2HI \rightarrow H_2 + I_2$ на основании следующих данных: при $T_1 = 556$ К $k_1 = 3,52 \cdot 10^{-7}$ (л/моль)·с⁻¹, при $T_2 = 629$ К $k_2 = 3,33 \cdot 10^{-5}$ (л/моль)·с⁻¹.

Б23. Рассчитайте энергию активации реакции $\text{N}_2\text{O}_5 \rightarrow \text{N}_2\text{O}_4 + 0,5\text{O}_2$ на основании следующих данных: при $T_1 = 273 \text{ K}$ $k_1 = 7,87 \cdot 10^{-7} \text{ с}^{-1}$, при $T_2 = 293 \text{ K}$ $k_2 = 1,76 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$.

Б24. Реакция щелочного омыления сложного эфира этилацетата в водном растворе имеет второй порядок. Энергия активации реакции равна 46,9 кДж/моль. Константа скорости реакции при температуре 25°C равна 6,56 л/(моль·мин). Рассчитайте константу скорости реакции при температуре 10°C.

Б25. Энергия активации гомогенной газофазовой реакции первого порядка $\text{N}_2\text{O}_5 \rightarrow \text{N}_2\text{O}_4 + 0,5\text{O}_2$ равна 103,39 кДж/моль. При температуре 308 К константа скорости реакции равна $1,36 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$. Рассчитайте, через какое время прореагирует 10% от исходного количества N_2O_5 , если проводить реакцию при температуре 340 К?

Б26. Рассчитайте энергию активации некоторой реакции первого порядка на основании следующих данных: при $T_1 = 300 \text{ K}$ $k_1 = 1,83 \cdot 10^{-6} \text{ с}^{-1}$, при $T_2 = 292 \text{ K}$ $k_2 = 4,43 \cdot 10^{-6} \text{ с}^{-1}$. Рассчитайте время, за которое прореагирует 80% от начального количества исходного вещества, если проводить реакцию при температуре 320 К.

Б27. В реакции первого порядка при температуре 1000 К за 10 мин прореагировало 10% от начального количества исходного реагента. При температуре 1100 К константа скорости реакции равна $1,84 \cdot 10^{-2} \text{ мин}^{-1}$. Определите энергию активации реакции.

Б28. Энергия активации гомогенной газофазовой реакции первого порядка $\text{N}_2\text{O}_5 \rightarrow \text{N}_2\text{O}_4 + 0,5\text{O}_2$ равна 103,39 кДж/моль. При температуре 323 К константа скорости реакции равна $8,80 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$. Сколько процентов оксида N_2O_5 по отношению к первоначальному количеству прореагирует через 1 мин после начала реакции, если проводить ее при температуре 345 К?

Б29. Реакция разложения некоторого вещества в газовой фазе имеет первый порядок, энергия активации реакции равна 200 кДж/моль. При температуре 300 К исходный реагент разлагается на 95% по отношению к его начальному количеству за 1 ч. При какой температуре за 1 ч разложится 60% исходного вещества?

Б30. Реакция щелочного омыления сложного эфира этилацетата в водном растворе имеет второй порядок. При температуре 25°C смешали 0,5 л 0,0005 М раствора эфира и 0,5 л 0,1 М раствора щелочи. Константа скорости реакции при данной температуре равна 6,56 л/(моль·мин). Найти период полупревращения эфира и концентрацию эфира через 1 мин после начала реакции.

Б31. Энергия активации гомогенной газофазовой реакции второго порядка $\text{CH}_3\text{CHO} \rightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}$ равна 138,91 кДж/моль. При температуре

676 К константа скорости реакции равна 74,35 л/(моль·с). Найти период полупревращения альдегида и время (в секундах), за которое прореагирует 90% альдегида при температуре 710 К, если его начальная концентрация равнялась 0,0005 моль/л.

Б32. Реакция второго порядка $C_2H_5Br + KOH \rightarrow C_2H_5OH + KBr$ протекает в спиртовом растворе при температуре 25°C. Смешали 0,3 л 0,05 М раствора C_2H_5Br и 0,3 л 0,1 М раствора щелочи в этиловом спирте. Константа скорости реакции при данной температуре равна $8,46 \cdot 10^{-5}$ л/(моль·с). Найти период полупревращения C_2H_5Br и время (в часах), к которому в растворе останется 2% этилбромид.

Б33. Реакция щелочного омыления сложного эфира пропилацетата в водном растворе имеет второй порядок. При температуре 10°C смешали 0,4 л 0,05 М раствора эфира и 0,4 л 0,4 М раствора щелочи. Константа скорости реакции при данной температуре равна 2,15 л/(моль·мин). Найти период полупревращения эфира и время, к которому в смеси останется 25% от начального количества эфира.

Б34. Реакция второго порядка $HI + CH_3I \rightarrow CH_4 + I_2$ протекает при температуре 600 К. Начальные концентрации исходных реагентов одинаковы и равны 0,001 моль/л. Константа скорости реакции при данной температуре равна 0,1246 л/(моль·с). Найти период полупревращения CH_3I и время, к которому прореагирует по 25% исходных реагентов.

Б35. Реакция второго порядка $2HI \rightarrow H_2 + I_2$ протекает при температуре 750 К. Начальная концентрация HI равна 10^{-5} моль/л. Константа скорости реакции при данной температуре равна 0,0102 л/(моль·с). Найти период полупревращения HI . При какой температуре следует проводить эту реакцию, чтобы период полупревращения HI увеличился в два раза?

Б36. Реакция щелочного омыления сложного эфира пропилацетата в водном растворе имеет второй порядок и протекает при температуре 20°C. Константа скорости реакции при данной температуре равна 4,23 л/(моль·мин). Начальные концентрации исходных реагентов одинаковы и равны 0,02 моль/л. Найти период полупревращения пропилацетата и время, к которому в смеси останется 20% щелочи.

Б37. Гомогенная газофазовая реакция первого порядка протекает при температуре 500 К. Константа скорости реакции при этой температуре равна $0,015 \text{ мин}^{-1}$. При температуре 550 К давление исходного реагента уменьшилось от 540 до 400 мм рт. ст. за 6 мин после начала реакции. Определите энергию активации реакции.

Б38. Реакция щелочного омыления сложного эфира этилпропионата $CH_3CH_2COOC_2H_5$ в водном растворе имеет второй порядок и

протекает при температуре 25°C. Константа скорости реакции при данной температуре равна 5,94 л/(моль·мин). Смешали по 1 л 0,02 М растворов исходных реагентов. Найти энергию активации реакции и время, к которому в смеси останется 10% этилпропионата.

Б39. Газофазная реакция $\text{CH}_3\text{CHO} \rightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}$ имеет второй порядок и протекает при 631 К. Энергия активации реакции равна 138,91 кДж/моль. Исходная концентрация уксусного альдегида CH_3CHO равна 0,001 моль/л. Константа скорости при 631 К равна 12,76 л/(моль·с). Найти время, за которое прореагирует 60% исходного вещества.

При какой температуре следует проводить эту реакцию, чтобы при той же начальной концентрации CH_3CHO это время уменьшилось в два раза?

Б40. Газофазная реакция $\text{CH}_3\text{CHO} \rightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}$ имеет второй порядок и протекает при 663 К. Константа скорости при данной температуре равна 45,8 л/(моль·с), энергия активации реакции равна 138,91 кДж/моль. Исходная концентрация уксусного альдегида CH_3CHO равна 0,0001 моль/л. Найти время, за которое прореагирует 80% исходного вещества.

При какой температуре следует проводить эту реакцию, чтобы при той же начальной концентрации CH_3CHO это время увеличилось в два раза?

Уровень В

В1. Реакция щелочного омыления сложного эфира этилпропионата $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOC}_2\text{H}_5$ в водном растворе имеет второй порядок и протекает при температуре 0°C. Константа скорости реакции при данной температуре равна 1,14 л/(моль·мин). Смешали по 2 л 0,002 М раствора эфира и 0,1 л раствора КОН. Найти период полупревращения эфира и концентрацию щелочи в смеси через 5 мин после начала реакции.

В2. Реакция щелочного омыления сложного эфира этилового спирта и пропановой кислоты имеет второй порядок. При $T = 298$ К константа скорости реакции равна 5,94 л/(моль·мин). Смешали 0,5 л 0,01 М раствора эфира и 0,5 л 0,1 М раствора щелочи. Определить период полупревращения эфира при 298 К.

При какой температуре следует проводить эту реакцию при тех же исходных концентрациях реагентов, чтобы период полупревращения уменьшился в два раза? Энергия активации реакции равна 41,0 кДж/моль.

В3. Реакция щелочного омыления сложного эфира трет-бутилацетата имеет второй порядок и протекает при 283 К. При $T = 283$ К константа скорости реакции равна 0,0369 л/(моль·мин). Смешали по 0,2 л 0,001 М раствора эфира и 0,01 М раствора щелочи. Определить период полупревращения эфира при 283 К, а также температуру, при которой следует проводить реакцию, если при тех же исходных концентрациях реагентов нужно увеличить период полупревращения в два раза. Энергия активации реакции равна 54,2 кДж/моль.

В4. Реакция щелочного омыления сложного эфира бутилацетата имеет второй порядок и протекает при 283 К. При $T = 283$ К константа скорости реакции равна 1,94 л/(моль·мин). Смешали 0,5 л 0,001 М раствора эфира и 0,5 л 0,1 М раствора КОН. Определить период полупревращения эфира при 283 К.

При какой температуре следует проводить эту реакцию при тех же исходных концентрациях реагентов, чтобы период полупревращения увеличился в два раза? Энергия активации реакции равна 48,67 кДж/моль.

В5. Реакция щелочного омыления сложного эфира втор-бутилацетата имеет второй порядок и протекает при 283 К. При $T = 283$ К константа скорости реакции равна 1,76 л/(моль·мин). Смешали 0,4 л 0,005 М раствора эфира и 0,4 л 0,2 М раствора КОН. Определить период полупревращения эфира при 283 К.

При какой температуре следует проводить эту реакцию при тех же исходных концентрациях реагентов, чтобы период полупревращения увеличился в два раза? Энергия активации реакции равна 48,175 кДж/моль.

В6. Реакция щелочного омыления сложного эфира этилацетата имеет второй порядок и протекает при 273 К. При $T = 273$ К константа скорости равна 1,17 л/(моль·мин). Смешали 1 л 0,02 М раствора эфира и 1 л 0,02 М раствора щелочи. Определить время, за которое прореагирует 90% эфира, и период полупревращения эфира при 273 К.

При какой температуре следует проводить эту реакцию при тех же исходных концентрациях реагентов, чтобы период полупревращения уменьшился в 1,5 раза? Энергия активации реакции равна 37,1 кДж/моль.

В7. Реакция щелочного омыления сложного эфира бутилацетата имеет второй порядок и протекает при 283 К. При $T = 283$ К константа скорости реакции равна 1,94 л/(моль·мин). Смешали 1 л 0,05 М раствора эфира и 1 л 0,05 М раствора щелочи. Определить концентрацию эфира в растворе через 1 мин после начала реакции и период полупревращения при 283 К.

При какой температуре следует проводить эту реакцию при тех же начальных концентрациях реагентов, чтобы период полупревращения уменьшился в 1,5 раза? Энергия активации реакции равна 48,67 кДж/моль.

В8. Реакция щелочного омыления сложного эфира пропилацетата имеет второй порядок и протекает при 283 К. При $T = 283$ К константа скорости равна 2,15 л/(моль·мин). Определить период полупревращения эфира при 283 К.

При какой температуре следует проводить эту реакцию при тех же исходных концентрациях реагентов, чтобы период полупревращения уменьшился в два раза? Энергия активации реакции равна 46,45 кДж/моль. Перед началом реакции смешиваются 1 л 0,01 М раствора эфира и 1 л 0,2 М раствора щелочи.

В9. Для реакции, приведенной в табл. 16, записать дифференциальное выражение для скорости по веществу D. Принять, что частные порядки по веществам равны стехиометрическим коэффициентам ($n_i = \nu_i$).

Таблица 16

Исходные данные для задачи В9

Вариант	Реакция	Вариант	Реакция
1	$A \begin{array}{c} \xrightarrow{k_1} 2D \\ \xleftarrow{k_2} \\ \begin{array}{l} \nearrow k_3 \text{ } 3F \\ \searrow k_4 \text{ } G \end{array} \\ \xleftarrow[k_6]{k_5} B \xrightarrow{k_7} 2E \end{array}$	6	$A \begin{array}{c} \xrightarrow{k_1} 2D \\ \xleftarrow{k_2} \\ \begin{array}{l} \nearrow k_3 \text{ } 2F \\ \searrow k_4 \text{ } G \end{array} \\ \xleftarrow[k_5]{k_4} 3B \xrightarrow{k_6} E \end{array}$
2	$2A \begin{array}{c} \xrightarrow{k_1} 3D \\ \xleftarrow{k_2} \\ \begin{array}{l} \nearrow k_3 \text{ } 2F \\ \searrow k_4 \text{ } 2G \end{array} \\ \xrightarrow[k_6]{k_4} B \xleftarrow[k_5]{k_5} E \end{array}$	7	$2A \begin{array}{c} \xrightarrow{k_1} 2D \\ \xleftarrow{k_2} \\ \begin{array}{l} \nearrow k_3 \text{ } 3F \\ \searrow k_4 \text{ } 2G \end{array} \\ \xrightarrow[k_7]{k_4} B \xleftarrow[k_6]{k_6} E \end{array}$
3	$3A \begin{array}{c} \xrightarrow{k_1} D \\ \xleftarrow{k_2} \\ \begin{array}{l} \nearrow k_3 \text{ } 2F \\ \searrow k_4 \text{ } 3B \end{array} \\ \xrightarrow{k_5} E \end{array}$	8	$A \begin{array}{c} \xrightarrow{k_1} 2D \\ \xleftarrow{k_2} \\ \begin{array}{l} \nearrow k_3 \text{ } 1,5B \\ \searrow k_4 \text{ } 3E \end{array} \end{array}$
4	$2A \begin{array}{c} \xrightarrow{k_1} 2D \\ \xleftarrow{k_2} \\ \begin{array}{l} \nearrow k_3 \text{ } 2F \\ \searrow k_4 \text{ } 2G \end{array} \\ \xrightarrow[k_6]{k_3} 3B \xleftarrow[k_5]{k_5} E \end{array}$	9	$2A \begin{array}{c} \xrightarrow{k_1} 3D \\ \xleftarrow{k_2} \\ \begin{array}{l} \nearrow k_3 \text{ } 2F \\ \searrow k_4 \text{ } 2G \end{array} \\ \xrightarrow[k_6]{k_5} B \xrightarrow{k_7} E \end{array}$
5	$A \begin{array}{c} \xrightarrow{k_1} 2D \\ \xleftarrow{k_2} \\ \begin{array}{l} \nearrow k_3 \text{ } 3F \\ \searrow k_4 \text{ } G \end{array} \\ \xleftarrow[k_6]{k_5} B \xrightarrow{k_7} 2E \end{array}$	10	$2A \begin{array}{c} \xrightarrow{k_1} D \\ \xleftarrow{k_2} \\ \begin{array}{l} \nearrow k_3 \text{ } 3F \\ \searrow k_4 \text{ } B \end{array} \end{array}$

Вариант	Реакция	Вариант	Реакция
11	$ \begin{array}{c} k_1 \nearrow 2F \\ 3D \xrightleftharpoons[k_4]{k_3} 2B \xrightleftharpoons[k_6]{k_5} E \\ k_2 \searrow G \end{array} $	21	$ \begin{array}{c} k_3 \nearrow 2F \\ A \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} 3D \xrightarrow{k_5} 2B \\ k_4 \searrow G \end{array} $
12	$ \begin{array}{c} k_3 \nearrow F \\ A \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} 2D \xleftarrow{k_4} 2B \xrightarrow{k_5} E \end{array} $	22	$ \begin{array}{c} k_3 \nearrow 2F \\ 3A \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} D \xrightarrow{k_4} 2B \xrightleftharpoons[k_7]{k_6} E \\ k_5 \searrow G \end{array} $
13	$ A \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} 3D \xrightleftharpoons[k_4]{k_3} 2B \xrightleftharpoons[k_6]{k_5} 2E $	23	$ 2A \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} 3D \xrightleftharpoons[k_4]{k_3} B \xrightarrow{k_5} E $
14	$ \begin{array}{c} k_3 \nearrow F \\ 2A \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} D \xrightleftharpoons[k_6]{k_5} 2B \xrightarrow{k_7} E \\ k_4 \searrow 2G \end{array} $	24	$ \begin{array}{c} k_3 \nearrow F \\ 3A \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} 2D \xrightleftharpoons[k_6]{k_5} 2B \xrightarrow{k_7} E \\ k_4 \searrow 3G \end{array} $
15	$ \begin{array}{c} k_1 \nearrow 3F \\ 2D \xrightleftharpoons[k_4]{k_3} B \xrightleftharpoons[k_6]{k_5} 3E \\ k_2 \searrow G \end{array} $	25	$ \begin{array}{c} k_3 \nearrow F \\ 3A \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} 2D \xrightleftharpoons[k_5]{k_4} 2B \end{array} $
16	$ \begin{array}{c} k_3 \nearrow F \\ 2A \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} D \xrightleftharpoons[k_6]{k_5} 2B \xrightarrow{k_7} E \\ k_4 \searrow 3G \end{array} $	26	$ \begin{array}{c} k_3 \nearrow F \\ 3A \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} 2D \xrightarrow{k_5} B \\ k_4 \searrow 3G \end{array} $
17	$ \begin{array}{c} k_1 \nearrow 2F \\ A \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} 2D \xrightarrow{k_4} 3B \xrightleftharpoons[k_6]{k_5} 2E \\ k_3 \searrow G \end{array} $	27	$ \begin{array}{c} k_3 \nearrow 2F \\ 2A \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} 3D \xrightleftharpoons[k_6]{k_5} 2B \xrightarrow{k_7} E \\ k_4 \searrow G \end{array} $
18	$ \begin{array}{c} k_3 \nearrow F \\ A \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} 2D \xleftarrow{k_4} B \xrightarrow{k_5} 2E \end{array} $	28	$ \begin{array}{c} k_1 \nearrow F \\ A \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} 2D \xrightarrow{k_4} 2B \xrightleftharpoons[k_6]{k_5} 3E \\ k_3 \searrow 3G \end{array} $
19	$ \begin{array}{c} k_3 \nearrow F \\ 2A \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} 3D \xrightleftharpoons[k_6]{k_5} 2B \xrightarrow{k_7} E \\ k_4 \searrow 2G \end{array} $	29	$ \begin{array}{c} k_3 \nearrow F \\ 3A \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} 2D \xleftarrow{k_4} B \xrightarrow{k_5} 2E \end{array} $
20	$ \begin{array}{c} k_1 \nearrow F \\ 2D \xrightleftharpoons[k_4]{k_3} 2B \xrightleftharpoons[k_6]{k_5} 3E \\ k_2 \searrow G \end{array} $	30	$ \begin{array}{c} k_3 \nearrow F \\ A \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} 2D \xrightleftharpoons[k_5]{k_4} 3B \end{array} $



1. Клындюк, А. И. Физическая химия: учеб. пособие для студентов химико-технологических специальностей / А. И. Клындюк, Г. С. Петров, Е. А. Чижова. – Минск: БГТУ, 2013. – 300 с.

2. Дудчик, Г. П. Физическая химия / Г. П. Дудчик, А. И. Клындюк, Е. А. Чижова. – Минск: БГТУ, 2008. – 148 с.

3. Дудчик, Г. П. Равновесная электрохимия. Электроды и гальванические элементы / Г. П. Дудчик, И. М. Жарский. – Минск: БГТУ, 2000. – 147 с.

4. Клындюк, А. И. Физическая химия: учеб.-метод. пособие для практических и лабораторных занятий по разделу «Химическая кинетика» / А. И. Клындюк, Е. А. Чижова. – Минск: БГТУ, 2012. – 122 с.

5. Краткий справочник физико-химических величин / под ред. А. А. Равделя, А. М. Пономаревой. – СПб.: Специальная литература, 1999. – 230 с.

6. Волков, А. И. Большой химический справочник / А. И. Волков, И. М. Жарский. – Минск: Современная школа, 2005. – 608 с.

7. Физическая химия: методические указания к лабораторным занятиям по теме «Электропроводность растворов электролитов» для студентов химико-технологических специальностей / сост.: А. И. Клындюк, Е. А. Чижова. – Минск: БГТУ, 2007. – 44 с.



ПРЕДИСЛОВИЕ	3
1. ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ РАСТВОРОВ ЭЛЕКТРОЛИТОВ....	5
Уровень А	5
Уровень Б.....	14
Уровень В	18
2. РАВНОВЕСНАЯ ЭЛЕКТРОХИМИЯ	27
Уровень А	27
Уровень Б.....	37
Уровень В	40
3. ХИМИЧЕСКАЯ КИНЕТИКА	43
Уровень А	43
Уровень Б.....	53
Уровень В	61
ЛИТЕРАТУРА	65

Учебное издание

Болвако Александр Константинович
Дудчик Галина Павловна

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Пособие для самостоятельной работы
в системе дистанционного обучения
для студентов химико-технологических
специальностей

Редактор *Е. И. Гоман*
Компьютерная верстка *Е. В. Ильченко*
Корректор *Е. И. Гоман*

Издатель:

УО «Белорусский государственный технологический университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий

№ 1/227 от 20.03.2014.

Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.