

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Химический факультет

УТВЕРЖДАЮ

Декан химического факультета,
Чл.-корр. РАН, профессор



/С.Н. Калмыков/
«31» августа 2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)
Электрохимия

Уровень высшего образования:
Специалитет

Направление подготовки (специальность):
04.05.01 Фундаментальная и прикладная химия

Направленность (профиль) ОПОП:

Аналитическая химия, Биоорганическая химия, Высокомолекулярные соединения, Коллоидная химия, Лазерная химия, Медицинская химия и тонкий органический синтез, Нанобиоматериалы и нанобиотехнологии, Неорганическая химия, Нефтехимия, Органическая химия, Радиохимия, Физическая химия, Фундаментальная и прикладная энзимология, Химия ионных и молекулярных систем, Химическая кинетика, Химия высоких энергий, Химия и технология веществ и материалов, Химия твердого тела, Электрохимия

Форма обучения:

очная

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
Учебно-методической комиссией факультета
(протокол №7 от 07.07.2021)

Москва 2021

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки / специальности 04.05.01 «Фундаментальная и прикладная химия» (программа специалитета), утвержденного приказом МГУ от 29 декабря 2018 года № 1770 (с изменениями по приказу № 1109 от 11.09.2019).

Год (годы) приема на обучение 2019/2020, 2020/2021, 2021/2022

1. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП: базовая часть ООП, блок ХД.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников). Соответствие результатов обучения по данному элементу ОПОП результатам освоения ОПОП (в форме компетенция – индикатор - ЗУВ) указано в Общей характеристике ОПОП.

Компетенция	Индикатор достижения	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
<p>УК-1.С Способен формулировать научно обоснованные гипотезы, создавать теоретические модели явлений и процессов, применять методологию научного познания в профессиональной деятельности</p>	<p>УК-1.С.2 Формулирует научно обоснованные гипотезы, создает теоретические модели явлений и процессов</p>	<p>Уметь: использовать теоретические знания для решения конкретных задач профессиональной деятельности Владеть: системой фундаментальных химических понятий и методологией научных исследований в выбранной области химии, Владеть: навыками применения теоретических основ традиционных и современных разделов химии при решении профессиональных задач</p>
<p>ОПК-1.С Способен решать современные проблемы фундаментальной и прикладной химии, используя методологию научного подхода и систему фундаментальных химических понятий и законов</p>	<p>ОПК-1.С.1. Воспринимает информацию химического содержания, систематизирует и анализирует ее, оценивает актуальность и степень новизны данных</p> <p>ОПК-1.С.2. Выявляет ошибочные суждения и логические противоречия, опираясь на знание теоретических основ фундаментальных</p>	<p>Знать: фундаментальные основы электрохимии и химии высоких энергий, включающие теорию электролитов, представления электрохимической термодинамики и кинетики электродных процессов и способы их применения для решения практических задач Знать: актуальные направления исследований в области современной электрохимии и химии высоких энергий Уметь: использовать основные феноменологические и теоретические соотношения для количественного описания влияния различных факторов на характеристики растворов, межфазных границ и электродных процессов, а также процессов с участием сольватированных электронов Уметь: применять полученные знания при решении практических задач в области прикладной электрохимии и химии высоких энергий, используя методологию научного подхода Владеть: навыками применения теоретических основ электрохимии при решении учебных и научных задач</p>

	разделов химии	
ОПК-4.С Способен создавать математические модели профессиональных задач, учитывать ограничения и границы применимости моделей, интерпретировать полученные математические результаты	ОПК-4.С.1 Предлагает математические и (или) физические модели химических процессов	Знать: современные способы описания термодинамических свойств растворов и межфазных границ, кинетики процессов с участием электронов Знать: возможности и ограничения разных типов термодинамических и кинетических моделей, применяемых для описания свойств растворов, межфазных границ и процессов в этих системах Уметь: осознанно выбирать адекватные модели для описания равновесий в конкретных растворах, состояния межфазных границ, кинетики процессов в этих системах
	ОПК-4.С.2 Грамотно интерпретирует математические результаты расчета характеристик (свойств, параметров) химических объектов	Владеть: навыками интерпретации результатов термодинамического моделирования
ОПК-5.С Способен использовать современные расчетно-теоретические методы изучения свойств веществ и процессов с их участием при решении профессиональных задач	ОПК-5.С.1. Оценивает свойства веществ и материалов, прогнозирует результаты химических процессов с использованием современных расчетно-теоретических методов и представлений	Уметь: проводить физико-химические расчеты с использованием основных соотношений электрохимической термодинамики и кинетики электродных процессов и процессов с участием сольватированных электронов в растворах Уметь: решать учебные задачи по основным разделам электрохимии
ОПК-7.С Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности	ОПК-7.С.1 Использует современные компьютерные технологии при сборе информации химического профиля с использованием общих и профессиональных баз данных	Знать: основные источники информации по электрохимии Уметь: пользоваться справочной литературой и базами данных по электрохимии и химии высоких энергий Уметь: выделять и систематизировать основные идеи в научных текстах Владеть: приемами поиска корректной справочной информации, навыками сбора, обработки, анализа и систематизации научной информации

3. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся:

объем дисциплины (модуля) составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часа, из которых 40 часов составляет контактная работа студента с преподавателем (18 часов – занятия лекционного типа, 18 часов – занятия семинарского типа, 2 часа – групповые консультации, 2 часа – промежуточный контроль успеваемости), 32 часа составляет самостоятельная работа учащегося.

4. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия.

Обучающийся должен

Знать: основные физико-химические понятия

Уметь: проводить расчеты и оценки ключевых физико-химических величин

Владеть: основами механики и электростатики в рамках курса общей физики

5. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам.

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них					Самостоятельная работа обучающегося, часы из них			
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п..	Всего
Раздел 1. Растворы электролитов. Равновесия с участием ио-	20	6	6				12	8		8

нов и электронов										
Раздел 2. Основы химии высоких энергий и свойства сольватированного электрона	18	4	6				10	8		8
Раздел 3. Явления и процессы на заряженных межфазных границах	22	8	6				14	8		8
Промежуточная аттестация: <i>зачет</i>	12			2		2	4	8		8
Итого	72	18	18	2		2	40	32		32

6. Образовательные технологии:

- применение компьютерных симуляторов, обработка данных на компьютерах, использование компьютерных программ, управляющих приборами;
- использование средств дистанционного сопровождения учебного процесса;
- преподавание дисциплин в форме авторских курсов по программам, составленным на основе результатов исследований научных школ МГУ.

7. Учебно-методические материалы для самостоятельной работы по дисциплине (модулю):

Самостоятельная работа проводится в соответствии с заданиями, получаемыми студентами во время лекций и семинаров. Самостоятельная работа студентов обеспечивается доступом к сети Интернет и базам данных. Методические указания к самостоятельной работе расположены на сайте кафедры на страницах <http://www.elch.chem.msu.ru/rus/wp/index.php/opotok/> и <http://www.elch.chem.msu.ru/rus/wp/index.php/seminar/>.

8. Ресурсное обеспечение:

Перечень основной и вспомогательной учебной литературы ко всему курсу

Основная литература

1. Дамаскин Б.Б., Петрий О.А., Цирлина Г.А. Электрохимия. М.: Химия, 2001; М.: КолосС-Химия, 2006; СПб.: Лань, 2015.

2. Дамаскин Б.Б., Петрий О.А. Введение в электрохимическую кинетику. М.: Высшая школа, 1983.
3. Фрумкин А.Н., Багоцкий В.С., Иофа З.А., Кабанов Б.Н. Кинетика электродных процессов. М.: изд-во МГУ, 1952.
4. Экспериментальные методы химии высоких энергий / под ред. М.Я. Мельникова. М.: Изд-во МГУ, 2009.
- 3.Рудой В. М., Останина Т. Н., Мурашова И. Б., Даринцева А. Б. Электрохимия. Методика исследования кинетики электродных процессов 2-е изд. Учебное пособие для вузов, Юрайт, 2021.

Дополнительная литература

1. Багоцкий В.С. Основы электрохимии. Л.: Химия, 1988.
2. Корыта И., Дворжак И., Богачкова В. Электрохимия. М.: Мир, 1977.
3. Ньюмен Дж. Электрохимические системы. М.: Мир, 1977.
4. Феттер К. Электрохимическая кинетика. М.: Химия, 1967.
5. Харт Э., Анбар М. Гидратированный электрон. М.: Атомиздат, 1973.

9. Язык преподавания – русский

10. Преподаватели:

Цирлина Галина Александровна, профессор, д.х.н.
 Фельдман Владимир Исаевич, профессор, д.х.н.
 Борзенко Марина Игоревна, доцент, к.х.н.
 Лауринавичюте Вероника Кестуче, с.н.с., к.х.н.
 Свиридова Лиана Николаевна, с.н.с., к.х.н.
 Пуголовкин Леонид Витальевич, н.с., к.х.н.
 Левин Эдуард Евгеньевич, н.с.
 Хохлов Александр Анатольевич, м.н.с., к.х.н.
 Засимов Павел Валерьевич, техник
 Леонтьев Алексей Павлович, инженер-исследователь
 Лукьянова Мария Антоновна, техник
 Сосулин Илья Сергеевич, техник

Фонды оценочных средств, необходимые для оценки результатов обучения

Образцы оценочных средств для текущего контроля усвоения материала и промежуточной аттестации - зачета. На зачете проверяется достижение промежуточных индикаторов компетенций, перечисленных в п.2.

Вопросы для подготовки к зачету

1. Сформулируйте причины отклонения экспериментально определенных энергий сольватации от рассчитанных по модели Борна.
2. Дайте феноменологическое обоснование параметра, вводимого в уравнение для коэффициента активности в третьем приближении модели Дебая-Хюкеля .
3. Оцените пределы применимости уравнения Дебая-Хюкеля-Онзагера для низкополярных растворителей с диэлектрической проницаемостью менее 10.
4. Перечислите требования к редокс-системе, которую можно с наименьшими погрешностями использовать в качестве «универсального» электрода сравнения в разных растворителях.
5. Укажите принципиальные различия идеально поляризуемого, совершенно поляризуемого и неполяризуемого электродов.
6. Перечислите параметры, необходимые для расчета скорости электродного процесса в рамках теории замедленного разряда А.Н. Фрумкина.
7. Назовите возможные причины различий между «термодинамическим» и «кинетическим» радиусами гидратированного электрона.
8. Сформулируйте как определяется энергетический выход радиационно-химических и фотохимических процессов.

Примеры контрольных вопросов и задач для зачета

Контрольные вопросы

1. Какие ионы сильнее сольватируются в одном и том же растворителе – с большим или с меньшим ионным радиусом?
2. В каких растворителях выше концентрационный предел применимости уравнений Дебая-Хюкеля – в более или менее полярных?
3. Для какого электролита больше константа в эмпирическом уравнении Кольрауша – для кислоты или для ее соли? Проведите качественное сравнение на основе модели Онзагера.
4. При увеличении рН среды будет ускоряться или замедляться реакция восстановления ионов металла гипофосфитом?
5. На каком металле выше затраты заряда на формирование монослоя адсорбированного кислорода – на платине или на золоте при одинаковой кристаллографической ориентации поверхности?

6. При каких обстоятельствах наблюдаемый коэффициент переноса для электродного процесса может оказаться выше 1?
7. Приведите примеры «сверхбыстрых» реакций гидратированного электрона и поясните, какой смысл имеет в этом случае радиус реакции.
8. Как изменяется эффективный «термодинамический» радиус гидратированного электрона при повышении температуры ?

Расчетные задачи

1. Рассчитайте pH миллимолярного раствора цианида калия, зная константу кислотности циановодородной кислоты. Воспользуйтесь первым приближением модели Дебая-Хюккеля.
2. Оцените и сравните удельные электропроводности водных растворов, содержащих 10^{-3} М и 10^{-7} М уксусной кислоты, при 25 °С.
3. Как изменится pH раствора 0.0005 М хлорной кислоты при добавлении в него 0.1 М хлорида натрия? Температура раствора 40 °С, диэлектрическую проницаемость считать равной диэлектрической проницаемости воды при этой температуре.
4. Известно, что растворимости хлорида натрия в воде, этаноле и бензоле составляют 35.7, 0.065 и $<10^{-4}$ г/100 г воды соответственно, то есть уменьшаются при переходе к менее полярным растворителям. Описывается ли это поведение моделью Борна?
5. На гладкую поверхность стеклоуглеродного электрода нанесена монодисперсная платина (диаметр частиц 10 нм) в количестве 80 мкг/см². Какова геометрическая (видимая) площадь стеклоуглерода, если для электроокисления водорода, адсорбированного на платине при потенциале 0 В по обратимому водородному электроду в том же растворе, требуется пропускать ток 1 мА в течение 30 с. Число поверхностных атомов платины принять равным усредненному для трех низкоиндексных граней платины.
6. Насколько надо изменить высоту столба ртути в полярографической установке при замене раствора, содержащего 1 мМ бромат-аниона, на раствор 1 мМ хлорида железа(III), чтобы предельный диффузионный ток на капле остался неизменным?
7. Ртутный электрод с зарядом поверхности, равным -15 мкКл/см², и потенциалом -1.30 В относительно насыщенного каломельного электрода находится в растворе, содержащем 0.01 М индифферентного 1,1-электролита, 0.001 М Cr(III)EDTA⁻ и 0.0005 М Cr(II)EDTA²⁻. Найдите плотность тока восстановления Cr(III)EDTA⁻ на ртутном электроде при 25 °С.
8. В раствор 2М NaOH при температуре 368 К помещены два электрода: анод с геометрической площадью поверхности 10 см², загрузка платины 100 мкг/см², диаметр сферических частиц 9 нм, и катод с геометрической площадью поверхности 15 см², загрузка никеля 80 мкг/см², диаметр сферических частиц 10 нм. При каком напряжении функционирование системы в режиме электролизера (при отсутствии диффузионных ограничений) обеспечит выделение водорода со скоростью 2.5 л/час? Омическими потерями пренебречь. Коэффициенты переноса для замедленных одноэлектронных стадий обеих реакций принять равными 0.5.
9. Константа скорости реакции гидратированного электрона с молекулами диоксида углерода в воде при 298 К составляет $7.7 \cdot 10^9$ М⁻¹с⁻¹. Принимая, что эта реакция является диффузионно-контролируемой, коэффициент диффузии гидратированного электрона равен

$4.96 \cdot 10^{-5} \text{ см}^2/\text{с}$, а эффективный диаметр молекулы CO_2 равен 0.33 нм, оцените эффективный «кинетический» радиус гидратированного электрона в данной реакции. Каковы возможные причины неточности этой оценки?

10. Константа скорости реакции гидратированного электрона с нитробензолом составляет $3.4 \cdot 10^{10} \text{ М}^{-1}\text{с}^{-1}$, с нафталином – $5.1 \cdot 10^9 \text{ М}^{-1}\text{с}^{-1}$, с атомом водорода – $2.3 \cdot 10^{10} \text{ М}^{-1}\text{с}^{-1}$. Является ли какая-либо из этих реакций диффузионно-контролируемой? Аргументируйте ответ с помощью количественных оценок параметров реакций (кинетический радиус гидратированного электрона принять равным 0.25 нм, коэффициент диффузии – равным $4.96 \cdot 10^{-5} \text{ см}^2/\text{с}$).

11. Известно, что при повышении температуры наблюдается «красный» сдвиг максимума оптического поглощения гидратированного электрона с коэффициентом $dE_{max}/dT = -2.9 \cdot 10^{-3} \text{ эВ/К}$. Предполагая, что это смещение обусловлено только изменением энергии гидратации (т.е., свободная энергия гидратации изменяется на такую же величину, как и оптическая глубина ловушки E_{max}), оцените, как и во сколько раз изменится эффективный радиус гидратированного электрона при изменении температуры от 25 до 85 °С. Принять свободную энергию гидратации электрона при 25 °С равной - 157 кДж/ моль. Расчет провести в рамках приближения Борна.

12. Органическое вещество X способно претерпевать изомеризацию по нецепному механизму под действием ионизирующего излучения и света с длиной волны 540 нм. Квантовый выход фотоизомеризации составляет 0.5. Возможно ли протекание радиационно-химического процесса с такой же энергетической эффективностью? Ответ подтвердить расчетом.

Методические материалы для проведения процедур оценивания результатов обучения

Шкала оценивания знаний, умений и навыков является единой для всех дисциплин (приведена в таблице ниже)

ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)				
Оценка	2	3	4	5
Результат				
Знания	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
Умения	Отсутствие умений	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности непринципиального характера)	Успешное и систематическое умение
Навыки (владения)	Отсутствие навыков	Наличие отдельных навыков	В целом, сформированные навыки, но не в активной форме	Сформированные навыки, применяемые при решении задач

РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)	ФОРМА ОЦЕНИВА- НИЯ
<p>Знать: теоретические основы базовых химических дисциплин, необходимые для проведения научных исследований в сфере профессиональной деятельности</p> <p>Знать: фундаментальные основы электрохимии и химии высоких энергий, включающие теорию электролитов, представления электрохимической термодинамики и кинетики электродных процессов и способы их применения для решения практических задач</p> <p>Знать: актуальные направления исследований в области современной электрохимии и химии высоких энергий</p> <p>Знать: современные способы описания термодинамических свойств растворов и межфазных границ, кинетики процессов с участием электронов</p> <p>Знать: возможности и ограничения разных типов термодинамических и кинетических моделей, применяемых для описания свойств растворов, межфазных границ и процессов в этих системах</p> <p>Знать: основные источники информации по электрохимии</p>	<p>мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на зачете</p>
<p>Уметь: использовать теоретические знания для решения конкретных задач профессиональной деятельности</p> <p>Уметь: использовать основные феноменологические и теоретические соотношения для количественного описания влияния различных факторов на характеристики растворов, межфазных границ и электродных процессов, а также представлений о свойствах сольватированного электрона</p> <p>Уметь: применять полученные знания при решении практических задач в области прикладной электрохимии и химии высоких энергий, используя методологию научного подхода</p> <p>Уметь: осознанно выбирать адекватные модели для описания равновесий в конкретных растворах, состояния межфазных границ, кинетики процессов в этих системах</p> <p>Уметь: проводить физико-химические расчеты с использованием основных соотношений электрохимической термодинамики и кинетики электродных процессов и процессов с участием сольватированных электронов в растворах</p> <p>Уметь: решать учебные задачи по основным разделам электрохимии</p> <p>Уметь: пользоваться справочной литературой и базами данных по электрохимии и химии высоких энергий</p> <p>Уметь: выделять и систематизировать основные идеи в научных текстах</p>	<p>мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на зачете</p>
<p>Владеть: системой фундаментальных химических понятий и методологией научных исследований в выбранной области химии,</p> <p>Владеть: навыками применения теоретических основ традиционных и современных разделов химии при решении профессиональных задач</p> <p>Владеть: навыками применения теоретических основ электрохимии при решении учебных и научных задач</p>	<p>мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на зачете</p>

<p>Владеть: навыками интерпретации результатов термодинамического моделирования</p> <p>Владеть: приемами поиска корректной справочной информации, навыками сбора, обработки, анализа и систематизации научной информации</p>	
--	--