

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

УТВЕРЖДАЮ

Декан химического факультета,  
Акад. РАН, профессор



/В.В. Лунин/

«27» февраля 2017 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**Термодинамика и микроскопическое строение заряженных межфазных границ**

**Уровень высшего образования:**  
Специалитет

---

**Направление подготовки (специальность):**  
04.05.01 Фундаментальная и прикладная химия

**Направленность (профиль) ОПОП:**  
Электрохимия

**Форма обучения:**  
очная

---

Рабочая программа рассмотрена и одобрена  
Учебно-методической комиссией факультета  
(протокол №1 от 27.01.2017)

Москва 2017

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 22 июля 2011 года № 729 (в редакции приказов МГУ от 22 ноября 2011 года № 1066, от 21 декабря 2011 года № 1228, от 30 декабря 2011 года № 1289, от 27 апреля 2012 года № 303, от 30 декабря 2016 года № 1671).

Год (годы) приема на обучение

2014/2015, 2015/2016, 2016/2017, 2017/2018, 2018/2019

1. Наименование дисциплины (модуля) **Термодинамика и микроскопическое строение заряженных межфазных границ**
2. Уровень высшего образования – **специалитет.**
3. Направление подготовки: **04.05.01 Фундаментальная и прикладная химия.**
4. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП: вариативная часть ООП, блок ПД.
5. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Компетенция	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
<b>ОПК-1.С.</b> Способность решать современные проблемы фундаментальной и прикладной химии, используя методологию научного подхода и систему фундаментальных химических понятий и законов	<b>Уметь:</b> использовать основные феноменологические и теоретические соотношения для количественного описания наблюдаемых зависимостей характеристик растворов, межфазных границ и электродных процессов от параметров, варьирование которых возможно в эксперименте <b>Уметь:</b> использовать феноменологические и теоретические соотношения для интерпретации экспериментальных данных с учетом областей применимости этих соотношений и физического смысла используемых параметров
<b>ОПК-4.С.</b> Способность создавать математические модели профессиональных задач, учитывать ограничения и границы применимости моделей, интерпретировать полученные математические результаты	<b>Знать:</b> теорию электролитов, представления электрохимической термодинамики и модели, используемые в кинетике электродных процессов
<b>ОПК-5.С.</b> Способность использовать современные расчетно-теоретические методы изучения свойств веществ и процессов с их участием при решении профессиональных задач	<b>Уметь:</b> использовать основные феноменологические и теоретические соотношения для количественного описания наблюдаемых зависимостей характеристик растворов, межфазных границ и электродных процессов от параметров, варьирование которых возможно в эксперименте <b>Уметь:</b> использовать феноменологические и теоретические соотношения для интерпретации экспериментальных данных с учетом областей применимости этих соотношений и физического смысла используемых параметров

<p><b>СПК-1.С.</b> Способность использовать общие представления о природе явлений и процессов в электрохимических системах для решения задач профессиональной деятельности</p>	<p><b>Знать:</b> фундаментальные основы электрохимии, включающие теорию электролитов, представления электрохимической термодинамики и модели, используемые в кинетике электродных процессов основные понятия и определения, используемые в электрохимии</p> <p><b>Знать:</b> основы методов исследования межфазных границ и кинетики электродных процессов</p> <p><b>Знать:</b> особенности современных электрохимических технологий, применяемых в промышленности и энергетике</p> <p><b>Уметь:</b> использовать основные феноменологические и теоретические соотношения для количественного описания наблюдаемых зависимостей характеристик растворов, межфазных границ и электродных процессов от параметров, варьирование которых возможно в эксперименте</p> <p><b>Уметь:</b> использовать феноменологические и теоретические соотношения для интерпретации экспериментальных данных с учетом областей применимости этих соотношений и физического смысла используемых параметров</p> <p><b>Уметь:</b> применять полученные знания при решении практических задач в области прикладной электрохимии</p>
<p><b>СПК-2.С.</b> Способность использовать количественные термодинамические соотношения, описывающие равновесия в электрохимических системах</p>	<p><b>Уметь:</b> проводить расчеты с использованием основных соотношений электрохимической термодинамики</p> <p><b>Владеть:</b> навыками вычисления термодинамических характеристик электрохимических систем</p>
<p><b>СПК-3.С.</b> Способность понимать физические основы моделей и применять их для описания свойств растворов и межфазных границ</p>	<p><b>Знать:</b> современные подходы к описанию равновесных и неравновесных свойств растворов и межфазных границ</p> <p><b>Знать:</b> возможности и ограничения различных моделей, применяемых для описания свойств растворов и межфазных границ</p> <p><b>Уметь:</b> осознанно выбирать адекватные модели для описания свойств конкретных растворов и межфазных границ</p>
<p><b>СПК-4.С.</b> Способность планировать, организовывать и проводить электрохимический эксперимент, корректно обрабатывать его результаты</p>	<p><b>Знать:</b> принципы выбора методик проведения экспериментального исследования электрохимических явлений и процессов</p> <p><b>Знать:</b> устройство и принцип действия современных электрохимических приборов</p> <p><b>Уметь:</b> обосновать выбор метода экспериментальной проверки основных положений применяемой модели</p> <p><b>Уметь:</b> анализировать и интерпретировать полученные экспериментальные данные</p>

6. 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 4 зачетные единицы, всего 144 часа, из которых 78 часов составляет контактная работа студента с преподавателем (36 часов - занятия лекционного типа, 36 часов – занятия семинарского типа, 2 часа – групповые консультации, 4 часа промежуточная аттестация), 66 часов составляет самостоятельная работа студента.*

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

Обучающийся должен

**Знать:** основные сведения о строении межфазных границ в рамках общего курса физической химии

**Уметь:** проводить расчеты и оценки ключевых физико-химических величин

**Владеть:** навыками работы со справочной литературой

8. 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					Самостоятельная работа обучающегося, часы		
		из них					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. Термодинамика идеально поляризуемого электрода	26	8	8				16	10		10
Раздел 2. Термодинамика совершенно поляризуемого электрода	26	10	8				18	8		8
Раздел 3. Строение межфазных границ на хорошо охарактеризованных электродах	26	8	10				18	8		8
Раздел 4. Строение межфазных границ на сложных электродных материалах	28	10	10				20	8		8
Промежуточная аттестация <i>экзамен</i>	38			2		4	6	32		32
<b>Итого</b>	<b>144</b>	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>2</b>		<b>4</b>	<b>78</b>	<b>66</b>		<b>66</b>

#### 9. 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.

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

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

#### 11. Ресурсное обеспечение:

- Перечень основной и вспомогательной учебной литературы ко всему курсу

## Основная литература

1. Дамаскин Б.Б., Петрий О.А. Введение в электрохимическую кинетику. М.: Высшая школа, 1987.
2. Дамаскин Б.Б., Петрий О.А., Батраков В.В. Адсорбция органических соединений на электродах. М.-Л.: Наука, 1968.
3. Фрумкин А.Н. Потенциалы нулевого заряда. М.: Наука, 1982.
4. Catalysis and electrocatalysis at nanoparticle surfaces / Eds. A. Wieckowski, E.R. Savinova, C.G. Vayenas. N.Y.: Marcel Dekker. Inc., 2003

## Дополнительная литература

1. Делахей П. Двойной слой и кинетика электродных процессов. М.: Мир, 1967.
  2. Adsorption of molecules at metal electrodes / Eds. Lipkowski J., Ross Ph. N. N.-Y.: Wiley-VCH, 1993.
  3. Schmickler W. Interfacial electrochemistry. Amsterdam: North-Holland, 1990.
- Материально-техническое обеспечение: специальных требований нет, занятия проводятся в обычной аудитории, оснащенной доской и мелом (маркерами)

12. Язык преподавания – русский

13. Преподаватели:

Цирлина Галина Александровна, профессор, д.х.н.

## Фонды оценочных средств, необходимые для оценки результатов обучения

Образцы оценочных средств для текущего контроля усвоения материала и промежуточной аттестации - экзамена. На экзамене проверяется достижение промежуточных индикаторов компетенций, перечисленных в п.5.

### Вопросы к экзамену

1. Сформулируйте ключевые различия между адсорбцией ионов меди на жидком ртутном и поликристаллическом золотом электродах.
2. Какие микроструктурные факторы могут определить зависимость адсорбции ионов от природы дисперсного платинового электрода?
3. В чем состоят различия зависимостей свободного заряда от потенциала для ртутного и платинового электродов в одном и том же растворе?

4. Сформулируйте приближения и допущения, принятые в методике определения истинной поверхности платины по десорбции адатомов водорода.
5. Сформулируйте приближения и допущения, принятые в методиках определения истинной поверхности по десорбции адатомов меди.
6. Сформулируйте приближения и допущения, принятые в методиках определения поверхности металлов группы платины по десорбции монооксида углерода.

### **Примеры контрольных заданий и задач для экзамена**

1. Емкость двойного слоя на ртутном электроде в растворе 10 мМ NaF при потенциале нулевого заряда составляет 13.15 мкФ/см<sup>2</sup>, при смещении потенциала на ~0.3 В в сторону более отрицательных значений (заряд электрода -4.5 мкКл/см<sup>2</sup>) емкость достигает 19.3 мкФ/см<sup>2</sup>, а при дальнейшем смещении в том же направлении (на ~ 0.6 В от точки нулевого заряда, заряд электрода -11.2 мкКл/см<sup>2</sup>) снижается до 16.1 мкФ/см<sup>2</sup>. Рассчитайте емкость плотного слоя при всех трех указанных зарядах электрода. В рамках модели Грэма рассчитайте емкости двойного слоя на ртутном электроде в 1 и 100 мМ растворах поверхностно-неактивного 1,1-электролита при тех же зарядах поверхности.
2. Истинные поверхности платины, нанесенной на углеродный носитель, определены по десорбции водорода (12 м<sup>2</sup>/г), меди (14 м<sup>2</sup>/г), кислорода (11 м<sup>2</sup>/г), монооксида углерода (13 м<sup>2</sup>/г) с использованием стандартных методик. Перечислите возможные причины различий полученных величин. Определите размер частиц платины, обеспечивающий приведенные величины удельной поверхности. Предложите план вольтамперометрического исследования, который позволил бы уточнить результат.
3. На грани монокристалла Pt(311) адатомы свинца декорируют ступени. Рассчитать затраты заряда на осаждение адатомов свинца и на образование монослоя адсорбированного водорода на террасах. Схематически изобразить вольтамперограммы, отвечающие этим процессам.
4. Катализаторы для анодного и катодного процессов – квазисферические платиновые частицы с радиусом 3 и 5 нм соответственно на углеродных подложках. Загрузка (loading) на аноде - 500 мкг Pt/см<sup>2</sup>, на катоде – 100 мкг Pt/см<sup>2</sup> геометрической поверхности. Геометрическая поверхность электродов – 10 см<sup>2</sup>. Каковы затраты заряда на десорбцию монослоя водорода с анода и катода?



**Методические материалы для проведения процедур оценивания результатов обучения**

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

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

<b>РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)</b>	<b>ФОРМА ОЦЕНИВАНИЯ</b>
<p>Знать: теорию электролитов, представления электрохимической термодинамики и модели, используемые в кинетике электродных процессов</p> <p>Знать: фундаментальные основы электрохимии, включающие теорию электролитов, представления электрохимической термодинамики и модели, используемые в кинетике электродных процессов основные понятия и определения, используемые в электрохимии</p> <p>Знать: основы методов исследования межфазных границ и кинетики электродных процессов</p> <p>Знать: особенности современных электрохимических технологий, применяемых в промышленности и энергетике</p> <p>Знать: современные подходы к описанию равновесных и неравновесных свойств растворов и межфазных границ</p> <p>Знать: возможности и ограничения различных моделей, применяемых для описания свойств растворов и межфазных границ</p> <p>Знать: принципы выбора методик проведения экспериментального исследования</p>	<p>мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на экзамене</p>

<p>электрохимических явлений и процессов Знать: устройство и принцип действия современных электрохимических приборов</p>	
<p>Уметь: использовать основные феноменологические и теоретические соотношения для количественного описания наблюдаемых зависимостей характеристик растворов, межфазных границ и электродных процессов от параметров, варьирование которых возможно в эксперименте Уметь: использовать феноменологические и теоретические соотношения для интерпретации экспериментальных данных с учетом областей применимости этих соотношений и физического смысла используемых параметров Уметь: применять полученные знания при решении практических задач в области прикладной электрохимии Уметь: проводить расчеты с использованием основных соотношений электрохимической термодинамики Уметь: осознанно выбирать адекватные модели для описания свойств конкретных растворов и межфазных границ Уметь: обосновать выбор метода экспериментальной проверки основных положений применяемой модели Уметь: анализировать и интерпретировать полученные экспериментальные данные</p>	<p>мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на экзамене</p>
<p>Владеть: навыками вычисления термодинамических характеристик электрохимических систем</p>	<p>мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на экзамене</p>