

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования "Пермский
государственный национальный исследовательский
университет"

Кафедра физической химии

Авторы-составители: **Медведева Наталья Александровна**

Рабочая программа дисциплины
ХИМИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ РАЗДЕЛА ФАЗ
Код УМК 74221

Утверждено
Протокол №6
от «14» мая 2020 г.

Пермь, 2020

1. Наименование дисциплины

Химия поверхностей раздела фаз

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина входит в вариативную часть Блока « М.1 » образовательной программы по направлениям подготовки (специальностям):

Направление: **04.04.01** Химия
направленность Физическая химия

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

В результате освоения дисциплины **Химия поверхностей раздела фаз** у обучающегося должны быть сформированы следующие компетенции:

04.04.01 Химия (направленность : Физическая химия)

ПК.3 Способен проводить экспериментальные работы и обрабатывать полученные данные в выбранной области химии, химической технологии или смежных с химией науках с использованием различных методов и подходов

Индикаторы

ПК.3.1 Проводит экспериментальные и расчетно-теоретические исследования в выбранной области химии с использованием различных методов и подходов

ПК.3.2 Обрабатывает полученные данные с использованием современных методов анализа информации

4. Объем и содержание дисциплины

Направления подготовки	04.04.01 Химия (направленность: Физическая химия)
форма обучения	очная
№№ триместров, выделенных для изучения дисциплины	4
Объем дисциплины (з.е.)	4
Объем дисциплины (ак.час.)	144
Контактная работа с преподавателем (ак.час.), в том числе:	48
Проведение лекционных занятий	12
Проведение практических занятий, семинаров	12
Проведение лабораторных работ, занятий по иностранному языку	24
Самостоятельная работа (ак.час.)	96
Формы текущего контроля	Входное тестирование (1) Защищаемое контрольное мероприятие (3) Итоговое контрольное мероприятие (1) Письменное контрольное мероприятие (2)
Формы промежуточной аттестации	Экзамен (4 триместр)

5. Аннотированное описание содержания разделов и тем дисциплины

Введение

Характеристики атомов, находящихся на поверхности, не совпадают с объемными характеристиками фазы, а сама поверхность характеризуется такими специфическими величинами, как работа выхода электрона, поверхностное натяжение. При рассмотрении реальных поверхностей ситуация усложняется, поскольку указанные характеристики изменяются при адсорбции.

1. Силы возникающие при формировании поверхностей раздела фаз

Силы, возникающие при формировании поверхностей раздела фаз. Поверхностная область. Поверхностное напряжение, поверхностное натяжение и поверхностная энергия. Анизотропия поверхностной энергии. Поверхностное сгущение. Термодинамические потенциалы поверхности. Зависимость поверхностной энергии от температуры. Термодинамическое равновесие систем с поверхностной областью. Уравнение Юнга-Лапласа. Уравнение самопроизвольного протекания капиллярных явлений. Уравнения Кельвина и Томсона. Смачивание твердой фазы жидкой. Краевые углы смачивания для однофазной, гетерофазной и пористой подложки. Гистерезис смачивания. Зависимость между строением поверхности и поверхностной энергией. Гладкие и размытые граничные поверхности. Термодинамический анализ Джексона. Зависимость удельной поверхностной энергии гладкой и размытой поверхности от степени заполнения поверхности.

1.1.1. Поверхностная область

Поверхностная область. Поверхностный слой на примере однокомпонентной системы. Математическая запись экстенсивных термодинамических величин поверхности раздела. Подход Гиббса и Гугенхайма в представление поверхностной фазы.

1.1.2. Поверхностное напряжение, поверхностное натяжение и поверхностная энергия

Поверхностное напряжение, поверхностное натяжение и поверхностная энергия. Термин «поверхностное натяжение» применительно к жидкой и твердой фазам. Зависимость поверхностного натяжения от скорости деформации. Зависимость поверхностного натяжения и поверхностной энергии от температуры.

1.1.3. Анизотропия поверхностной энергии

Анизотропия поверхностной энергии. Соотношение поверхностной энергии различных кристаллографических плоскостей для металлов с ГЦК и ОЦК решеткой.

1.1.4. Поверхностное сгущение

Поверхностное сгущение. Подбор поверхности раздела Гиббса с учетом адсорбции в системе Ag-O₂. Изменение плотности на границе раздела фаз.

1.1.5. Термодинамические потенциалы поверхности

Термодинамические потенциалы поверхности. Термодинамические функции для объемных фаз: функции Гельмгольца (свободная энергия поверхности), Гиббса (полезная энергия поверхности), Херринга (термодинамический потенциал поверхности). Связь между внутренней энергией поверхности и энергией поверхности. Расчет поверхностной энергии чистых металлов, твердых растворов, промежуточных фаз и химических соединений.

1.1.6. Зависимость поверхностной энергии от температуры

Зависимость поверхностной энергии от температуры. Температурный коэффициент поверхностной энергии. Зависимость температурного коэффициента с поверхностной энтропией для однокомпонентных и многокомпонентных систем.

1.2. Термодинамическое равновесие систем с поверхностной областью

Термодинамическое равновесие систем с поверхностной областью. Уравнение Юнга-Лапласа. Уравнение самопроизвольного протекания капиллярных явлений. Уравнения Кельвина и Томсона. Смачивание твердой фазы жидкой. Краевые углы смачивания для однофазной, гетерофазной и пористой подложки. Гистерезис смачивания.

1.2.1. Уравнение Юнга-Лапласа

Уравнение Юнга-Лапласа. Допущения при выводе уравнения Юнга-Лапласа. Уравнение Юнга-Лапласа для единичной межфазной поверхности, произвольно искривленной поверхности и сферической поверхности. Уравнение самопроизвольного протекания капиллярных явлений. Условие равновесия системы.

1.2.2. Уравнение самопроизвольного протекания капиллярных явлений

Уравнения Кельвина и Томсона. Уравнения Оствальда и Шаттлворт. Применение уравнений для анализа коагуляции выделений в металлической матрице и при решении проблем роста зерна.

1.2.3. Уравнения Кельвина и Томсона

Уравнения Кельвина и Томсона. Уравнения Оствальда и Шаттлворт. Применение уравнений для анализа коагуляции выделений в металлической матрице и при решении проблем роста зерна.

1.2.4. Смачивание твердой фазы жидкой. Краевые углы смачивания для однофазной, гетерофазной и пористой подложки. Гистерезис смачивания

Смачивание твердой фазы жидкой. Краевые углы смачивания для однофазной, гетерофазной и пористой подложки. Гистерезис смачивания. Уравнение Юнга. Работа растекания и коэффициент растекания. Избирательное смачивание. Гидрофильность и гидрофобность поверхности. Фактор шероховатости поверхности твердого тела. Влияние шероховатости на смачивание поверхности. Смачивание при частичной растворимости твердой фазы в жидкой. Двугранный угол. Выполнение условия Гиббса-Смита.

1.3. Зависимость между строением поверхности и поверхностной энергией

Зависимость между строением поверхности и поверхностной энергией. Гладкие и размытые граничные поверхности. Термодинамический анализ Джексона. Зависимость удельной поверхностной энергии гладкой и размытой поверхности от степени заполнения поверхности.

1.3.1. Гладкие и размытые граничные поверхности

Гладкие и размытые граничные поверхности. Типы поверхности кристаллов: гладкая, размытая, ступенчатая. Процессы роста на различных поверхностях кристалла.

1.3.2. Термодинамический анализ Джексона. Зависимость удельной поверхностной энергии гладкой и размытой поверхности от степени заполнения поверхности

Термодинамический анализ Джексона. Зависимость удельной поверхностной энергии гладкой и размытой поверхности от степени заполнения поверхности. Теория Джексона и ее предпосылки. Удельная полезная поверхность как функция заполнения атомами положений на поверхности кристалла.

2. Методы определения поверхностной энергии

Методы определения поверхностной энергии. Измерение поверхностного натяжения жидких металлов методами капиллярного поднятия, массы капли, методами висящей и лежащей капли. Измерение поверхностной энергии металла в твердом состоянии. Метод нулевой ползучести. Метод сглаживания канавок.

2.1. Измерение поверхностного натяжения жидких металлов методами капиллярного поднятия, массы капли, методами висящей и лежащей капли

Метод капиллярного поднятия для измерения поверхностного натяжения органических жидкостей и водных растворов. Схема образования газовых пузырьков в устье капилляров в жидком металле. Способ измерения величин для расчета показателя форм висящей капли и лежащей капли.

2.2. Измерение поверхностной энергии металла в твердом состоянии. Метод нулевой ползучести. Метод сглаживания канавок

Метод нулевой ползучести для определения поверхностной энергии металлов и сплавов в твердом состоянии. Метод сглаживания канавок: профиль канавки. Метод термического травления границ зерен. Формулы для расчета отдельных механизмов переноса атомов: поверхностная самодиффузия, объемная самодиффузия, диффузия паров металла через окружающий газ, для испарения и конденсации.

3. Термодинамика образования новой фазы

Термодинамика образования новой фазы. Основы термодинамики дисперсных систем.

Термодинамические основы образования зародышей новой фазы. Гетерогенное образование новой фазы. Кинетика возникновения зародышей новой фазы в метастабильной системе. Скорость роста частиц новой фазы.

3.1. Основы термодинамики дисперсных систем

Схема термодинамики образования частиц дисперсной фазы. Работа образования частицы при фазовом превращении. Приращение свободной энергии при изменении фазового состава.

3.2. Термодинамические основы образования зародышей новой фазы

Закономерности гомогенного зародышеобразования по Гиббсу-Фольмеру. Конденсация пересыщенного пара. Кристаллизация из раствора. Кипение и кавитация.

3.2.1. Закономерности гомогенного зародышеобразования по Гиббсу-Фольмеру

Закономерности гомогенного зародышеобразования по Гиббсу-Фольмеру. Влияние метастабильности на форму энергетического барьера, радиус и работу критического зародыша. Критический зародыш новой фазы.

3.2.2. Конденсация пересыщенного пара. Кристаллизация из раствора

Конденсация пересыщенного пара. Кристаллизация из раствора. Работа критического зародыша. Концентрация насыщенного и пересыщенного раствора. Выделение твердой и/или жидкой фазы из раствора с пересыщением.

3.2.3. Кипение и кавитация

Кипение и кавитация. Механизм образования зародышей новой газообразной фазы в процессах кипения кавитации. Работа образования критических зародышей пара внутри растянутых жидкостей.

3.2.4. Кристаллизация из расплава

Кристаллизация из расплава. Применение уравнения Гиббса-Гельмгольца. Изменение температуры и давления вдоль кривой равновесия при кристаллизации. Зависимость химического потенциала твердой и жидкой фаз от температуры.

3.3. Гетерогенное образование новой фазы

Гетерогенное образование новой фазы. Особенности гомогенного и гетерогенного зародышеобразования. Образование зародышей новой фазы на шероховатой поверхности.

3.4. Кинетика возникновения зародышей новой фазы в метастабильной системе

Кинетика возникновения зародышей новой фазы в метастабильной системе. Возникновение зародышей как флуктуационный процесс. Распределение концентрации частиц по радиусам. Зависимость частоты возникновения зародышей новой фазы от переохлаждения в системе.

3.5. Скорость роста частиц новой фазы

Скорость роста частиц новой фазы. Рост частицы новой фазы при кристаллизации из раствора. Диффузионный и кинетический режим роста частиц новой фазы. Возникновение двумерных зародышей новой фазы. Зародышеобразование на ступенчатой поверхности.

4. Современные методы изучения поверхностей

Методы исследования поверхности. Дифракция медленных электронов (ДМЭ). Сканирующая зондовая микроскопия (СЗМ). Сканирующая туннельная микроскопия (СТМ). Атомно-силовая микроскопия (АСМ).

5. Адсорбция

Физическая адсорбция. Типы адсорбционных пленок. Хемосорбция. Адсорбция газов и паров на поверхности твердых тел. Основные теории газовой адсорбции. Адсорбция на пористых телах и расчет основных характеристик пористой структуры. Адсорбция ПАВ на границе жидкость-газ.

5.1. Физическая адсорбция. Типы адсорбционных пленок. Хемосорбция

Основные типы изотерм адсорбции. Зависимость изостерической теплоты адсорбции от степени заполнения поверхности. Физическая адсорбция. Адсорбционная способность. Типы адсорбционных пленок. Хемосорбция. Адсорбция газов на поверхности различных металлов, приводящие к химической адсорбции.

5.2. Адсорбция газов и паров на поверхности твердых тел. Основные теории газовой адсорбции. Адсорбция на пористых телах и расчет основных характеристик пористой структуры
Адсорбция газов и паров на поверхности твердых тел. Основные теории газовой адсорбции. Адсорбция на пористых телах и расчет основных характеристик пористой структуры. Изотермы адсорбции-десорбции в зависимости от типа пор. Изотермы капиллярной конденсации для расчета удельной поверхности пористых тел.

5.3. Адсорбция ПАВ на границе жидкость-газ

Адсорбция неионогенных и ионогенных поверхностно-активных веществ.

6. Адсорбционные модели в решении коррозионных задач

Модель однородного фона. Термодинамическое описание. Механизм и кинетика движения межфазной границы. Модель сферического "желе". Решеточные и кластерные модели в задачах об адсорбции в электрохимическом процессе.

6.1. Модель однородного фона. Термодинамическое описание

Модель однородного фона. Термодинамическое описание. Функции состояния системы металл-электролит. Хемосорбция и физическая адсорбция. Энергетическая иерархия процесса адсорбции. Уравнение Липпмана.

6.2. Механизм и кинетика движения межфазной границы. Модель сферического "желе"

Механизм и кинетика движения межфазной границы. Модель сферического "желе". Концентрационный профиль на границе раздела металл/электролит. Модель электрохимического ДЭС. Распределение потенциала в ДЭС для физической и специфической адсорбции. Классификация поверхностей:

сингулярные, вицинальные, диффузные. геометрия ступенчатых поверхностей.

6.3. Решеточные и кластерные модели в задачах об адсорбции в электрохимическом процессе

Решеточные и кластерные модели в задачах об адсорбции в электрохимическом процессе. Ингибирующие покровные 2-D и 3-D-пленки. Модели роста конденсированных слоев ПАВ на электродах.

7. Размерные эффекты в химии гетерогенных систем

Размерные эффекты в однокомпонентных системах (микроразмерные системы, их транспортные свойства). Гетерогенные многокомпонентные твердофазные системы: межфазное поверхностное взаимодействие и спекание, энергия образования точечных дефектов на контакте фаз. Химические свойства наноразмерных систем. Методы получения наноразмерных систем

7.1. Размерные эффекты в однокомпонентных системах (микроразмерные системы, их транспортные свойства)

Два типа размерных эффектов. Микроразмерные системы. Эффективное значение поверхностной энергии кристалла, имеющего N граней, M ребер и Z вершин. Энергия упругости. Эффект снижения температур фазовых переходов. Наноразмерные системы. Характерные эффекты наноразмерных систем: структурные изменения, изменение термодинамических свойств, фазовый размерный эффект. Транспортные свойства микро- и нанокристаллов. Концентрация дефектов на поверхности.

7.2. Гетерогенные многокомпонентные твердофазные системы: межфазное поверхностное взаимодействие и спекание, энергия образования точечных дефектов на контакте фаз

Гетерогенные многокомпонентные твердофазные системы: межфазное поверхностное взаимодействие и спекание композита, энергия образования точечных дефектов на контакте фаз. Схемы процессов спекания и изменения энергии Гиббса композита для случаев отсутствия адгезии между компонентами и сильной адгезии. Схема образования дефектов в зоне контакта фаз двух бинарных ионных соединений. Ионная проводимость композитов. Размерные эффекты в гетерогенных системах. Размерные эффекты в химии твердых органических соединений.

7.3. Химические свойства наноразмерных систем

Химические свойства наноразмерных систем. Свойства частиц, образующихся на начальных стадиях гетерогенных химических реакций. Каталитические свойства. Гидрирование металлических систем. Электрохимические и антикоррозионные свойства.

7.4. Методы получения наноразмерных систем

Методы получения наноразмерных систем. Метод разложения прекурсоров. Механохимический синтез нанокомпозитов и наночастиц. Механическое воздействие на твердое тело и образование наноразмерных систем.

8. Размерные эффекты в электрохимии

Размерные эффекты в диффузионной кинетике. Микроэлектроды и микрочайки. Двойной электрический слой как наноразмерная структура. Размерные эффекты в электрокатализе. Размерные эффекты в элементарном акте переноса заряда. Размерные эффекты в процессах образования новой фазы в электрохимических системах. Электрохимические нанотехнологии.

8.1. Размерные эффекты в диффузионной кинетике. Микроэлектроды и микрочайки

Размерные эффекты в диффузионной кинетике. Микроэлектроды и микрочайки. Кинетические параметры электродных процессов. Практическое назначение микроэлектродов. Микрочайки для регистрации электрохимических превращений единичной молекулы.

8.2. Двойной электрический слой как наноразмерная структура

Двойной электрический слой как наноразмерная структура. Зависимость ДЭС от потенциала нулевого заряда. Модели строения ДЭС.

8.3. Размерные эффекты в электрокатализе

Размерные эффекты в электрокатализе. Размерно-зависимые электрохимические явления в хемосорбированных и электрокаталитических процессах. Особенности электрокатализаторов. Механизм бифункционального катализа. Механизм электрокатализа при параллельном протекании двух или более процессов хемосорбции реагента на примере процессов с участием органических частиц на металлах платиновой группы.

8.4. Размерные эффекты в элементарном акте переноса заряда

Теоретическое описание электрохимических межфазных границ и протекающих на них процессов переноса заряженных частиц. Факторы, влияющие на перенос электрона в системе электрод-реагент. Размерные эффекты в фотоэлектрохимических процессах.

8.5. Размерные эффекты в процессах образования новой фазы в электрохимических системах

Комбинация размерных эффектов в процессах электрокристаллизации. Описание стационарной и нестационарной кинетики процессов зарождения-роста частиц новой фазы. Условия получения фрактальных осадков. Варьирование геометрии осадка на наноуровне. Особенности процессов электрокристаллизации, как способа образования интеркалятов. Области применения электрохимических систем.

8.6. Электрохимические нанотехнологии

Электрохимические нанотехнологии. Классификация электрохимических нанотехнологий: локальные и нелокальные. Литографические методы.

6. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Освоение дисциплины требует систематического изучения всех тем в той последовательности, в какой они указаны в рабочей программе.

Основными видами учебной работы являются аудиторские занятия. Их цель - расширить базовые знания обучающихся по осваиваемой дисциплине и систему теоретических ориентиров для последующего более глубокого освоения программного материала в ходе самостоятельной работы. Обучающемуся важно помнить, что контактная работа с преподавателем эффективно помогает ему овладеть программным материалом благодаря расстановке необходимых акцентов и удержанию внимания интонационными модуляциями голоса, а также подключением аудио-визуального механизма восприятия информации.

Самостоятельная работа преследует следующие цели:

- закрепление и совершенствование теоретических знаний, полученных на лекционных занятиях;
- формирование навыков подготовки текстовой составляющей информации учебного и научного назначения для размещения в различных информационных системах;
- совершенствование навыков поиска научных публикаций и образовательных ресурсов, размещенных в сети Интернет;
- самоконтроль освоения программного материала.

Обучающемуся необходимо помнить, что результаты самостоятельной работы контролируются преподавателем во время проведения мероприятий текущего контроля и учитываются при промежуточной аттестации.

Обучающимся с ОВЗ и инвалидов предоставляется возможность выбора форм проведения мероприятий текущего контроля, альтернативных формам, предусмотренным рабочей программой дисциплины. Предусматривается возможность увеличения в пределах 1 академического часа времени, отводимого на выполнение контрольных мероприятий.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

При проведении текущего контроля применяются оценочные средства, обеспечивающие передачу информации, от обучающегося к преподавателю, с учетом психофизиологических особенностей здоровья обучающихся.

7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

При самостоятельной работе обучающимся следует использовать:

- конспекты лекций;
- литературу из перечня основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля);
- текст лекций на электронных носителях;
- ресурсы информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимые для освоения дисциплины;
- лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение из перечня информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине;
- методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная:

1. Ролдугин В. И. Физикохимия поверхности:[учебник-монография]/В. И. Ролдугин.- Долгопрудный:Издательский дом " Интеллект",2008, ISBN 978-5-91559-008-2.-568.-Библиогр. в конце глав
2. Поверхностно-активные вещества и полимеры в водных растворах/К. Холмберг, Б. Йёнссон, Б. Кронберг, Б. Линдман ; под ред. Б. Д. Сумма ; пер. с англ. Г. П. Ямпольского.-Москва:БИНОМ. Лаборатория знаний,2007, ISBN 978-5-94774-363-0.-528.-Библиогр. в конце глав
3. Халдеев Г. В. Структурная коррозия металлов/Отв. ред. Ю. М. Полукаров; Рос. АН, Перм. гос. ун-т.- Пермь:Перм. гос. ун-т,1994, ISBN 5-02-001632-2.-473.-Библиогр.: с. 429-449
4. Электрохимия нанокompозитов. Металл-ионообменник/Т. А. Кравченко [и др.].-Москва:Наука,2013, ISBN 978-5-02-038142-1.-3631.-Библиогр. в конце гл.
5. Петухов И. В.,Медведева Н. А. Электроосаждение металлов и сплавов: теория и практика:учебное пособие для студентов химического факультета, обучающихся по направлению подготовки "Химия"/И. В. Петухов, Н. А. Медведева.-Пермь,2013, ISBN 978-5-7944-2083-8.-175.-Библиогр. в конце глав
6. Щербань М. Г. Физическая химия поверхностей раздела фаз:учебно-методическое пособие для студентов вузов/М. Г. Щербань.-Пермь,2007, ISBN 5-7944-0781-6.-207.
7. Кларк, Э. Р. Микроскопические методы исследования материалов : монография / Э. Р. Кларк, К. Н. Эберхард. — Москва : Техносфера, 2007. — 376 с. — ISBN 978-5-94836-121-5. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/12728>

Дополнительная:

1. Адсорбция из растворов на поверхностях твердых тел/Ч. Джайлс, Б. Инграм, Дж. Клюни ; ред.: Г. Парфит, К. Рочестер, В. И. Лыгин ; пер. Б. Н. Тарасевич.-Москва:Мир,1986.-488.
2. Наноматериалы: свойства и перспективные приложения:[сборник]/[А. Б. Ярославцев, В. К. Иванов, П. П. Федоров и др.].-Москва:Научный мир,2014, ISBN 978-5-91522-393-5.-455.-Библиогр. в конце разд.
3. Пека Г. П. Физические явления на поверхности полупроводников:учеб. пособие для физ. и радиофиз. спец. вузов/Г. П. Пека.-Киев:Вища шк.,1984.-214.-Библиогр.: с. 211-214
4. Поверхностная энергия твёрдых металлических фаз.-Москва:Атомиздат,1973.-171.
5. Адамсон А. У. Физическая химия поверхностей/А. Адамсон ; пер. с англ. И. Г. Абидор ; под ред. З. М. Зорин, В. М. Муллер ; авт. предисл. Б. В. Дерягин.-Москва:Мир,1979.-568.-Библиогр. в конце глав
6. Абрамзон А. А. Поверхностно-активные вещества. Свойства и применение/А. А. Абрамзон.- Ленинград:Химия,1981.-304.-Библиогр. в конце глав. - Предм. указ.: с. 299-301
7. Щукин Е. Д.,Перцов А. В.,Амелина Е. А. Коллоидная химия:учебник для вузов/Е. Д. Щукин, А. В. Перцов, Е. А. Амелина.-Москва:Высшая школа,2004, ISBN 5-06-004100-Х.-445.
8. Беккерт М.,Клемм Х. Справочник по металлографическому травлению/М. Беккерт, Х. Клемм; пер. с нем. Н. И. Туркиной, Е. Я. Капуткина, Н. А. Коноваловой, под ред. И. Н. Фридляндера, Ф. И. Квасова, Г. Б. Строганова.-М.:Металлургия,1979.-336.-Библиогр.: с. 303-334

9. Халдеев Г. В. Структурная коррозия металлов/Отв. ред. Ю. М. Полукаров; Рос. АН, Перм. гос. ун-т.- Пермь:Перм. гос. ун-т,1994, ISBN 5-02-001632-2.-473.-Библиогр.: с. 429-449

10. Катализ:Фундаментальные и прикладные исследования/ред.: О. А. Петрий, В. В. Лунин.- Москва:МГУ,1987.-286.-Библиогр. в конце ст.

9. Перечень ресурсов сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

<http://www.sciencedirect.com> Электронная библиотека издательства Elsevier

<http://www.nature.com/nature/index.html> Электронная библиотека издательства Nature

<http://www.springerlink.com> Электронная библиотека издательства SpringerLink

<http://elibrary.ru> Научная электронная библиотека

10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Образовательный процесс по дисциплине **Химия поверхностей раздела фаз** предполагает использование следующего программного обеспечения и информационных справочных систем: презентационные материалы (слайды по темам лекционных и практических занятий); доступ в режиме on-line в Электронную библиотечную систему (ЭБС); доступ в электронную информационно-образовательную среду университета

При освоении материала и выполнения заданий по дисциплине рекомендуется использование материалов, размещенных в Личных кабинетах обучающихся ЕТИС ПГНИУ (student.psu.ru).

При организации дистанционной работы и проведении занятий в режиме онлайн могут использоваться:

система видеоконференцсвязи на основе платформы BigBlueButton (<https://bigbluebutton.org/>).

система LMS Moodle (<http://e-learn.psu.ru/>), которая поддерживает возможность использования текстовых материалов и презентаций, аудио- и видеоконтент, а так же тесты, проверяемые задания, задания для совместной работы.

система тестирования Indigo (<https://indigotech.ru/>).

11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

1. Лекционные занятия Аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.
2. Занятий семинарского типа (семинары, практические занятия) Аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.
3. Лабораторные занятия «Учебная лаборатория по Коллоидной химии», "Учебная лаборатория физических методов исследования", "Учебная лаборатория рентгеноструктурного анализа", "Учебная лаборатория микроскопии" оснащенные специализированным оборудованием. Состав оборудования определен в Паспортах лабораторий.
4. Самостоятельная работа Учебная лаборатория по Коллоидной химии», "Учебная лаборатория физических методов исследования", "Учебная лаборатория рентгеноструктурного анализа", "Учебная лаборатория микроскопии" оснащенные специализированным оборудованием. Состав оборудования определен в Паспортах лабораторий. Аудитория для самостоятельной работы, оснащенный компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет», обеспеченный доступом в электронную информационно-образовательную среду университета. Помещения Научной библиотеки ПГНИУ

Помещения научной библиотеки ПГНИУ для обеспечения самостоятельной работы обучающихся:

1. Научно-библиографический отдел, корп.1, ауд. 142. Оборудован 3 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

2. Читальный зал гуманитарной литературы, корп. 2, ауд. 418. Оборудован 7 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

3. Читальный зал естественной литературы, корп.6, ауд. 107а. Оборудован 5 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

4. Отдел иностранной литературы, корп.2 ауд. 207. Оборудован 1 персональным компьютером с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

5. Библиотека юридического факультета, корп.9, ауд. 4. Оборудована 11 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

6. Читальный зал географического факультета, корп.8, ауд. 419. Оборудован 6 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

Все компьютеры, установленные в помещениях научной библиотеки, оснащены следующим программным обеспечением:

Операционная система ALT Linux;

Офисный пакет Libreoffice.

Справочно-правовая система «КонсультантПлюс»

**Фонды оценочных средств для аттестации по дисциплине
Химия поверхностей раздела фаз**

**Планируемые результаты обучения по дисциплине для формирования компетенции.
Индикаторы и критерии их оценивания**

ПК.3

Способен проводить экспериментальные работы и обрабатывать полученные данные в выбранной области химии, химической технологии или смежных с химией науках с использованием различных методов и подходов

Индикатор	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
<p>ПК.3.2 Обрабатывает полученные данные с использованием современных методов анализа информации</p>	<p>Знать основные современные методы информации для обработки экспериментальных данных. Уметь работать с различными видами информации с помощью компьютера и других информационных средств и коммуникационных технологий. Владеть навыком обработки результатов посредством пакетов прикладных программ профессиональной направленности.</p>	<p align="center">Неудовлетворител</p> <p>Не знает основные современные методы информации для обработки экспериментальных данных. Не умеет работать с различными видами информации с помощью компьютера и других информационных средств и коммуникационных технологий. Не владеет навыком обработки результатов посредством пакетов прикладных программ профессиональной направленности.</p> <p align="center">Удовлетворительн</p> <p>Общие, но не структурированные знания основных современных методов информации для обработки экспериментальных данных. Имеет слабое представление как работать с различными видами информации с помощью компьютера и других информационных средств и коммуникационных технологий. Демонстрирует отсутствие навыков обрабатывать результаты посредством пакетов прикладных программ профессиональной направленности.</p> <p align="center">Хорошо</p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания основных современных методов информации для обработки экспериментальных данных. Имеет представление как работать с различными видами информации с помощью компьютера и других информационных средств и коммуникационных технологий. Демонстрирует частично сформированные навыки обработки результатов посредством</p>

Индикатор	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p style="text-align: center;">Хорошо</p> <p>пакетов прикладных программ профессиональной направленности.</p> <p style="text-align: center;">Отлично</p> <p>Сформированные систематические знания основных современных методов информации для обработки экспериментальных данных. Умеет работать с различными видами информации с помощью компьютера и других информационных средств и коммуникационных технологий. Демонстрирует сформированные навыки обработки результатов посредством пакетов прикладных программ профессиональной направленности.</p>
<p>ПК.3.1 Проводит экспериментальные и расчетно-теоретические исследования в выбранной области химии с использованием различных методов и подходов</p>	<p>Знать основные методы и подходы, применяемые для описания процессов, протекающих на границе раздела фаз. Уметь использовать основные методы и подходы при проведении экспериментов, применительно к исследуемым объектам. Владеть навыком проведения расчетно-теоретических исследований систем и процессов, протекающих на границе раздела фаз.</p>	<p style="text-align: center;">Неудовлетворител</p> <p>Не знает основные методы и подходы, применяемые для описания процессов, протекающих на границе раздела фаз. Не умеет использовать основные методы и подходы при проведении экспериментов, применительно к исследуемым объектам. Не владеет навыком проведения расчетно-теоретических исследований систем и процессов, протекающих на границе раздела фаз.</p> <p style="text-align: center;">Удовлетворительн</p> <p>Общие, но не структурированные знания основных методов и подходов, применяемые для описания процессов, протекающих на границе раздела фаз. Демонстрирует частично сформированное умение использовать основные методы и подходы при проведении экспериментов, применительно к исследуемым объектам. С затруднениями владеет навыком проведения расчетно-теоретических исследований систем и процессов, протекающих на границе раздела фаз.</p> <p style="text-align: center;">Хорошо</p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания основных методов и подходов, применяемые для описания процессов, протекающих на границе раздела</p>

Индикатор	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p style="text-align: center;">Хорошо</p> <p>фаз. Демонстрирует частично сформированное умение использовать основные методы и подходы при проведении экспериментов, применительно к исследуемым объектам. В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применения навыков правильно осуществлять расчетно-теоретические исследования систем и процессов, протекающих на границе раздела фаз.</p> <p style="text-align: center;">Отлично</p> <p>Сформированные систематические знания основных методов и подходов, применяемые для описания процессов, протекающих на границе раздела фаз. Умеет использовать основные методы и подходы при проведении экспериментов, применительно к исследуемым объектам. Демонстрирует сформированные навыки проведения расчетно-теоретических исследований систем и процессов, протекающих на границе раздела фаз.</p>

Оценочные средства текущего контроля и промежуточной аттестации

Схема доставки : 12/12/24/96

Вид мероприятия промежуточной аттестации : Экзамен

Способ проведения мероприятия промежуточной аттестации : Оценка по дисциплине в рамках промежуточной аттестации определяется на основе баллов, набранных обучающимся на контрольных мероприятиях, проводимых в течение учебного периода.

Максимальное количество баллов : 100

Конвертация баллов в отметки

«отлично» - от 81 до 100

«хорошо» - от 61 до 80

«удовлетворительно» - от 50 до 60

«неудовлетворительно» / «незачтено» менее 50 балла

Компетенция (индикатор)	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
Входной контроль	Введение Входное тестирование	Для успешного усвоения дисциплин необходимо знания а) физики (разделы: молекулярно-кинетическая теория, оптика, электричество, капиллярность; механика и элементы теории прочности); б) физической химии (разделы: I и II-е начало термодинамики, теория растворов, теория сильных электролитов, электрохимия, кинетика химических реакций, гетерогенные процессы и адсорбция); в) неорганической химии (разделы: реакции гидролиза и ионного обмена, окислительно-восстановительные реакции, сильные и слабые электролиты, растворимость и произведение растворимости, строение вещества) г) органической химии (разделы: строение молекул высокомолекулярных соединений, белков, целлюлозы, поверхностно-активных веществ). д) высшей математики (дифференцирование и интегрирование, статистические методы).

Компетенция (индикатор)	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
<p>ПК.3.2 Обрабатывает полученные данные с использованием современных методов анализа информации</p> <p>ПК.3.1 Проводит экспериментальные и расчетно-теоретические исследования в выбранной области химии с использованием различных методов и подходов</p>	<p>1.2.3. Уравнения Кельвина и Томсона</p> <p>Защищаемое контрольное мероприятие</p>	<p>Знать основные характеристики (параметры) поверхностной области (границы раздела фаз). Знать зависимость поверхностного натяжения от температуры. Установить зависимость давления насыщенного пара над каплей от радиуса капли. Знать термодинамические функции для поверхностной области между фазами. Уметь производить расчеты термодинамических параметров. Знать методы определения поверхностных характеристик (поверхностное натяжение, поверхностная энергия, краевой угол смачивания). Уметь охарактеризовать процесс смачивания твердой фазы жидкостью. Способность выполнить экспериментальное задание (опыт) по предоставленной методике. Уметь оформить отчет по проделанному эксперименту. Способность правильно построить графики и сделать корректный вывод по лабораторной работе. Знать ответы на теоретические вопросы по экспериментальной работе.</p>
<p>ПК.3.2 Обрабатывает полученные данные с использованием современных методов анализа информации</p> <p>ПК.3.1 Проводит экспериментальные и расчетно-теоретические исследования в выбранной области химии с использованием различных методов и подходов</p>	<p>2.1. Измерение поверхностного натяжения жидких металлов методами капиллярного поднятия, массы капли, методами висящей и лежащей ка</p> <p>Защищаемое контрольное мероприятие</p>	<p>Знать основные группы методов подсчета поверхностного натяжения. Способен осуществить измерение поверхностной энергии различными экспериментальными методами согласно предоставленным методикам и корректно интерпретировать полученные результаты. Уметь применять основные законы, описывающие процессы на границе раздела фаз, для обсуждения полученных результатов, в том числе с привлечением информационных баз данных.</p>

Компетенция (индикатор)	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
<p>ПК.3.2 Обрабатывает полученные данные с использованием современных методов анализа информации</p> <p>ПК.3.1 Проводит экспериментальные и расчетно-теоретические исследования в выбранной области химии с использованием различных методов и подходов</p>	<p>3.2.1. Закономерности гомогенного зародышеобразования по Гиббсу-Фольмеру</p> <p>Письменное контрольное мероприятие</p>	<p>Знать термодинамику образования частицы дисперсной фазы различной геометрии. Уметь вычислять термодинамические параметры образования частицы при фазовом превращении. Контролировать правильность проведенных расчетов. Знает общие закономерности гомогенного зародышеобразования. Знать основные особенности формирования новой фазы при конденсации, кипении, кавитации, кристаллизации из раствора и расплава. Знать основные особенности гетерогенного образования новой фазы на гладких и шероховатых поверхностях. Способность выполнить экспериментальное задание (опыт) по предоставленной методике. Уметь применять основные законы, описывающие процессы гомогенного и гетерогенного зародышеобразования для обсуждения полученных результатов, в том числе с привлечением информационных баз данных.</p>
<p>ПК.3.2 Обрабатывает полученные данные с использованием современных методов анализа информации</p> <p>ПК.3.1 Проводит экспериментальные и расчетно-теоретические исследования в выбранной области химии с использованием различных методов и подходов</p>	<p>6.3. Решеточные и кластерные модели в задачах об адсорбции в электрохимическом процессе</p> <p>Письменное контрольное мероприятие</p>	<p>Уметь использовать современные методы регистрации и обработки результатов экспериментов, касающихся изучения поверхностей. Владеть навыками работы на учебно-научной аппаратуре при проведении химических экспериментов, касающихся изучения поверхностей. Знать основные типы адсорбционных взаимодействий и уметь их охарактеризовать. Уметь рассчитывать параметры адсорбционных взаимодействий. Знать основные модели адсорбционных моделей в решении коррозионных задач.</p>

Компетенция (индикатор)	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
<p>ПК.3.2 Обрабатывает полученные данные с использованием современных методов анализа информации</p> <p>ПК.3.1 Проводит экспериментальные и расчетно-теоретические исследования в выбранной области химии с использованием различных методов и подходов</p>	<p>7.4. Методы получения наноразмерных систем</p> <p>Защищаемое контрольное мероприятие</p>	<p>Знать основные типы размерных эффектов. Уметь охарактеризовать величину избыточной свободной энергии для микрокристаллических систем. Знать особенности наноразмерных систем и их характерные изменения. Владеет информацией о транспортных свойствах микро- и нанокристаллов. Описать схемы процессов спекания и изменения энергии Гиббса композита для случаев отсутствия адгезии между компонентами и сильной адгезии. Уметь применять основные химические свойства наноразмерных систем для обсуждения полученных результатов, в том числе с привлечением информационных баз данных. Знать основные методы получения наноразмерных систем и владеть навыками работы на учебно-научной аппаратуре при получении наноразмерных систем.</p>

Компетенция (индикатор)	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
<p>ПК.3.2 Обрабатывает полученные данные с использованием современных методов анализа информации</p> <p>ПК.3.1 Проводит экспериментальные и расчетно-теоретические исследования в выбранной области химии с использованием различных методов и подходов</p>	<p>8.5. Размерные эффекты в процессах образования новой фазы в электрохимических системах</p> <p>Итоговое контрольное мероприятие</p>	<p>Знать основные размерные эффекты в электрохимии. Знать особенности микроэлектродов и микроячеек и области их применения. Знать основные кинетические параметры электродных процессов и способность их рассчитывать. Уметь охарактеризовать ДЭС как наноразмерную структуру. Знать модели ДЭС. Знать о роли размерных эффектах в электрокатализе на примере бифункционального катализа. Уметь охарактеризовать размерные эффекты в элементарном акте переноса заряда. Знать размерные эффекты в процессах образования новой фазы в электрохимических системах. Уметь обосновать условия получения фрактальных осадков и варьирование геометрии осадка на наноуровне, в том числе с привлечением информационных баз данных. Уметь имеющуюся информацию использовать при решении профессиональных задач.</p>

Спецификация мероприятий текущего контроля

Введение

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы самостоятельной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **0**

Проходной балл: **0**

Показатели оценивания	Баллы
<p>Владеет основными понятиями и законами физической химии (I и II-е начало термодинамики, теория растворов, теория сильных электролитов, электрохимия, кинетика химических реакций, гетерогенные процессы и адсорбция). Может записать основные уравнения разделов физической химии. (комбинация «закон + уравнение» оценивается в 1,5 балла)</p>	12
<p>Владеет основными понятиями и законами физики (молекулярно-кинетическая теория, оптика, электричество, капиллярность; механика и элементы теории прочности). Может записать основные уравнения разделов физики. (комбинация «закон + уравнение» оценивается в 1,5 балла)</p>	9

1.2.3. Уравнения Кельвина и Томсона

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **20**

Проходной балл: **10**

Показатели оценивания	Баллы
Способен выполнить экспериментальное задание (опыт) по предоставленной методике. Контролирует правильность проведенных расчетов. Умеет оформлять отчет по проделанному эксперименту. Способен правильно построить графики и сделать корректный вывод по лабораторной работе.	5
Способен рассчитать работу адгезии, когезии, коэффициент растекания. Контролирует правильность проведенных расчетов.	3
Может установить зависимость давления насыщенного пара над каплей от радиуса капли. Рассчитать коэффициент пересыщения, поверхностное натяжение. Контролирует правильность проведенных расчетов.	3
Умеет производить расчеты термодинамических функций (свободная энергия, полезная энергия, термодинамический потенциал). Контролирует правильность проведенных расчетов.	3
Может охарактеризовать процесс смачивания твердой фазы жидкостью.	2
Знает основные характеристики (параметры) поверхностной области (границы раздела фаз).	2
Способен охарактеризовать зависимость поверхностного натяжения от температуры.	2

2.1. Измерение поверхностного натяжения жидких металлов методами капиллярного поднятия, массы капли, методами висящей и лежащей ка

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **10**

Проходной балл: **5**

Показатели оценивания	Баллы
Знает основные группы методов подсчета поверхностного натяжения (метод капиллярного поднятия, метод максимального давления в пузырьке, метод массы капли, метод лежащей капли, метод висящей капли, метод нулевой ползучести, метод сглаживания канавок, метод термического травления границ зерен, метод смачивания жидкостью). (За каждый метод по 0.5 балла)	4.5
Осуществляет измерение поверхностной энергии различными экспериментальными методами согласно предоставленным методикам и корректно интерпретирует полученные результаты.	3
Умеет применять основные законы, описывающие процессы на границе раздела фаз, для обсуждения полученных результатов, в том числе с привлечением информационных баз данных.	2.5

3.2.1. Закономерности гомогенного зародышеобразования по Гиббсу-Фольмеру

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставяемый за мероприятие промежуточной аттестации: **10**

Проходной балл: **5**

Показатели оценивания	Баллы
Знает основные особенности гомогенного и гетерогенного зародышеобразования.	2
Способен провести эксперимент, связанный с установлением скорости роста частиц новой фазы. Умеет оформлять отчет по проделанному эксперименту. Способен сделать корректный вывод по лабораторной работе.	2
Способен вычислить критическое значение удельной свободной поверхностной энергии с учетом коэффициента формы частицы. Контролирует правильность проведенных расчетов.	1.5
Умеет рассчитывать работу образования частицы при фазовом превращении. Контролирует правильность проведенных расчетов.	1.5
Умеет охарактеризовать влияние степени метастабильности на форму энергетического барьера, радиус и работу образования критического зародыша.	1.5
Знает термодинамику образования частицы дисперсной фазы различной геометрии путем диспергирования макрофазы.	1.5

6.3. Решеточные и кластерные модели в задачах об адсорбции в электрохимическом процессе

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **3 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы самостоятельной работы**

Максимальный балл, выставяемый за мероприятие промежуточной аттестации: **15**

Проходной балл: **7.5**

Показатели оценивания	Баллы
Знает основные модели адсорбционные модели в решении коррозионных задач: модель однородного фона, модель сферического «желе», решеточные и кластерные модели. Описание каждой модели – 1.5 балла	6
Знает основные типы адсорбционных взаимодействий и умеет их охарактеризовать. Способен рассчитать параметры адсорбционного процесса. Контролирует правильность проведенных расчетов	3
Владеет навыками работы на учебно-научной аппаратуре при проведении химических экспериментов, касающихся изучения поверхностей. Способен провести эксперимент согласно предоставленным методикам и корректно интерпретирует полученные результаты	3
Умеет использовать современные методы регистрации и обработки результатов экспериментов, касающихся изучения поверхностей. Умеет оформлять отчет по проделанному эксперименту	3

7.4. Методы получения наноразмерных систем

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **2 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставяемый за мероприятие промежуточной аттестации: **20**

Проходной балл: **10**

Показатели оценивания	Баллы
Знает характерные эффекты наноразмерных систем: структурные изменения, изменение	4.5

термодинамических свойств, фазовый размерный эффект. За знание особенностей каждого эффекта 1.5 балла	
Владеет навыками работы на учебно-научной аппаратуре при получении наноразмерных систем. Умеет оформлять отчет по проделанному эксперименту	3
Умеет рассчитывать эффективное значение поверхностной энергии кристалла, имеющего N граней, M ребер и Z вершин. Контролирует правильность проведенных расчетов	2
Уметь применять основные химические свойства наноразмерных систем для обсуждения полученных результатов, в том числе с привлечением информационных баз данных	2
Знает два независимых способа увеличения поверхностной энергии в кристаллической фазе	1.5
Может охарактеризовать схемы процессов спекания и изменения энергии Гиббса композита для случаев отсутствия адгезии между компонентами и сильной адгезии	1.5
Умеет вычислять концентрацию дефектов на поверхности и в объеме с учетом их энергии образования. Контролирует правильность проведенных расчетов	1.5
Может изобразить схему образования дефектов в зоне контакта фаз двух бинарных ионных соединений	1.5
Умеет рассчитывать энергию адгезии с учетом вклада дисперсионных сил. Контролирует правильность проведенных расчетов	1.5
Записать процесс структурной релаксации в виде квазихимических реакций с учетом стадии поверхностного разупорядочения	1

8.5. Размерные эффекты в процессах образования новой фазы в электрохимических системах

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **25**

Проходной балл: **12.5**

Показатели оценивания	Баллы
Умеет обосновывать условия получения фрактальных осадков и варьирование геометрии осадка на наноуровне, в том числе с привлечением информационных баз данных	4
Знать основные кинетические параметры электродных процессов. Способен рассчитать плотность предельного диффузионного тока для электрода с площадью геометрической поверхности. Контролирует правильность проведенных расчетов	3.5
Знает о роли размерных эффектах в электрокатализе. Способен «реальные» привести примеры, в том числе с привлечением информационных баз данных	3
Знает основные электрохимические технологии. Способен имеющуюся информацию использовать при решении профессиональных задач	3
Умеет охарактеризовать ДЭС как наноразмерную структуру. Знает модели ДЭС. Может их описать оперируя пространственным распределением потенциала в плотной и диффузной частях	3
Может описать механизм электрокатализа, который реализуется при параллельном протекании двух или более процессов хемосорбции реагента на примере процессов с	2.5

участием органических частиц на металлах платиновой группы	
Знает основные размерные эффекты в процессах образования новой фазы в электрохимических системах	2.5
Знает особенности микроэлектродов и микрочеек и области их применения	2
Знает характерные масштабы фрагментов электрохимических систем и устройств	1.5