

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
физической химии



О.А. Козадеров

25.02.2025 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Б1.В.08 Физикохимия процессов адсорбции**

1. Код и наименование направления подготовки: 04.04.01 Химия
2. Профиль подготовки/специализация: ХИМИЯ
3. Квалификация (степень) выпускника: магистр
4. Форма обучения: очная
5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: физической химии
6. Составители программы: Козадеров Олег Александрович, д.х.н., доц.,
Введенский Александр Викторович, д.х.н., проф.
7. Рекомендована: Научно-методическим Советом химического
факультета от 13.02.2025, протокол № 10-02
8. Учебный год: 2025/2026 Семестр: 1

9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Целями освоения учебной дисциплины являются:

– подготовка специалистов химиков, владеющих современными методами исследования, контроля и управления процессами, протекающими на межфазной границе, способных творчески их применять.

Задачи учебной дисциплины:

– дать общие феноменологические представления о термодинамике и кинетике адсорбционных процессов;

– познакомить с основными закономерностями адсорбции органических и неорганических соединений на электродах;

– проиллюстрировать влияние адсорбции на основные стадии электродных процессов.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Блок Б1. Часть, формируемая участниками образовательных отношений. Обязательная дисциплина. Для освоения этой части цикла студент должен иметь базовые знания фундаментальных разделов физики и химии, (прежде всего физической, неорганической, аналитической и органической), уметь применять основные законы химии и физики при обсуждении полученных результатов, в том числе с привлечением информационных баз данных.

11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижений:

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-1	Способен проводить сбор, систематизацию и критический анализ научной, технической и патентной информации, необходимой для решения исследовательских задач химической направленности	ПК-1.1	Обеспечивает сбор научной, технической и патентной информации, необходимой для решения исследовательских задач	Знать: современные направления развития учения об адсорбции, основные принципы построения изотерм адсорбции. Уметь: критически оценивать перспективы развития науки в области физикохимии адсорбции. Владеть: навыками поиска научной информации о адсорбционных явлениях и методах их изучения.
		ПК-1.2	Составляет аналитический обзор собранной научной, технической и патентной информации по тематике исследовательского проекта	Знать: физико-химические условия, определяющие форму изотермы адсорбции. Уметь: обосновать актуальность и научную новизну работы. Владеть: основными методами анализа адсорбционных явлений применительно к электродным процессам.
ПК-3	Способен на основе критического анализа результатов НИР и НИОКР оценивать перспективы их	ПК-3.1	Систематизирует информацию, полученную в ходе НИР и НИОКР, анализирует ее и сопоставляет с литературными данными	Знать: современные представления о термодинамике и кинетике адсорбционных процессов. Уметь: определять параметры равновесия процесса адсорбции и его скорость Владеть: навыками феноменологического

	практического применения и продолжения работ в области физической и неорганической химии			моделирования адсорбционных процессов.
		ПК-3.2	Определяет возможные направления развития работ и перспективы практического применения полученных результатов	Знать: современные проблемы физикохимии адсорбционных процессов. Уметь: оценивать по опытным данным возможность реализации определенного типа равновесной адсорбционной изотермы Владеть: навыками построения квазиравновесных и кинетических изотерм разных типов.

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час — 2 / 72.

Форма промежуточной аттестации *зачет*

13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы		Трудоемкость			
		Всего	По семестрам		
			Семестр 1		
Аудиторные занятия		36	36		
в том числе:	лекции	18	18		
	практические	18	18		
	лабораторные				
Самостоятельная работа		36	36		
в том числе: курсовая работа (проект)					
Форма промежуточной аттестации - <i>зачет</i>					
Итого:		72	72		

13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК
Лекции			
1.1	Адсорбция. Основные понятия. Изотермы адсорбции.	Поверхностные явления. Адсорбция. Типы адсорбционных взаимодействий. Энергия адсорбционных сил. Изотермы адсорбции. Изотерма адсорбции Генри. Изотерма мономолекулярной адсорбции Ленгмюра. Изотерма полимолекулярной адсорбции БЭТ. Учет взаимодействия адсорбирующихся молекул. Изотерма Фрумкина (Фаулера-Гугенгейма). Активированная адсорбция. Изотермы адсорбции на неоднородных	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=9603

		поверхностях.	
1.2	Термодинамика и кинетика адсорбции.	Соотношение Бренстеда-Поляни-Семенова. Правило Темкина. Равновесные и кинетические изотермы адсорбции. Кинетика Ленгмюра-Хиншелвуда. Закон действующих поверхностей. Кинетика сложных каталитических реакций по Тёмкину.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=9603
1.3	Нанохимия. Наноразмерные системы	Связь энергии Гиббса с размером частиц. Химический потенциал вещества в дисперсной фазе. Кристаллизация переохлажденной жидкости. Критический зародыш новой фазы. Уравнение Гиббса-Томсона. Электродный потенциал металлов в наноразмерном состоянии. Гомогенное и гетерогенное зародышеобразование. 3D-зародышеобразование при электрокристаллизации (теория Фольмера—Эрдей-Груза). Скорость лимитирующей стадии 2D- и 3D-зародышеобразования. Механизмы зародышеобразования. Активные центры зародышеобразования. Мгновенная и непрерывная нуклеация. Химическая нанотермодинамика. Энергия Гиббса дисперсного реагента и массивной фазы. Размерный эффект в электрохимической термодинамике. Нанокатализ. Первичный размерный эффект. Взаимосвязь каталитической активности и площади поверхности наночастиц. Вторичный размерный эффект. Перенос заряда между кластерами и носителем.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=9603
1.4	Поверхностные явления в электрохимии	Количественное описание адсорбции на электроде. Поверхностная концентрация и поверхностный избыток. Потенциал нулевого заряда. Двойной электрический слой (ДЭС). Адсорбционный метод изучения ДЭС. Электрокапиллярные явления. Уравнения электрокапиллярности Фрумкина и Липпмана. Электрокапиллярные кривые. Роль состава и концентрации раствора. Специфическая адсорбция ионов. Учет строения двойного электрического слоя и ψ' – потенциала в кинетике электродных реакций на примере реакции выделения водорода.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=9603
2. Практические занятия			
2.1	Адсорбция. Основные понятия.	Поверхностное натяжение растворов. Способы экспериментального	https://edu.vsu.ru/course

	Изотермы адсорбции.	определения адсорбции. Расчет изотерм адсорбции Генри, Ленгмюра, БЭТ, Фрумкина (Фаулера-Гугенгейма).	/view.php?id=9603
2.2	Термодинамика и кинетика адсорбции.	Кинетика Ленгмюра-Хиншелвуда. Закон действующих поверхностей. Кинетика сложных каталитических реакций по Тёмкину. Расчет термодинамических функций адсорбции. Закон действующих поверхностей. Адсорбция и катализ.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=9603
2.3	Нанохимия. Наноразмерные системы	Гомогенное и гетерогенное зародышеобразование. Механизмы зародышеобразования. Мгновенная и непрерывная нуклеация. Размерный эффект в химической и электрохимической термодинамике. Уравнение Гиббса-Томсона. Электродный потенциал металлов в наноразмерном состоянии.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=9603
2.4	Поверхностные явления в электрохимии	Количественное описание адсорбции на электроде. Поверхностная концентрация и поверхностный избыток. Потенциал нулевого заряда. Двойной электрический слой (ДЭС). Электрокапиллярные кривые. Расчет заряда поверхности и адсорбции (поверхностных избытков) ионов.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=9603

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (часов)			
		Лекции	Практические	Самостоятельная работа	Всего
1	Адсорбция. Основные понятия. Изотермы адсорбции.	6	6	10	22
2	Термодинамика и кинетика адсорбции.	6	6	10	22
3	Нанохимия. Наноразмерные системы	2	2	8	12
4	Поверхностные явления в электрохимии	4	4	8	16
	Итого	18	18	36	72

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Студенты знакомятся с теоретическим материалом в ходе лекционного курса. При освоении лекционного материала необходимо работать не только с конспектами лекций, но и с использованием рекомендованной учебной литературы и учебно-методических пособий (п.п. 15-16). Практические занятия по изучаемой дисциплине проводятся для более глубокого теоретического освоения изучаемых разделов дисциплины, решения расчетно-теоретических задач.

Контроль освоения теоретического материала проводится после прослушивания студентами лекционного материала по каждой теме в виде решения расчетных задач на практических занятиях и тестовых заданий.

К зачету допускаются только студенты, выполнившие и отчитавшиеся по всем практическим работам и тестам, предусмотренным рабочей программой.

Обучение лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется с учетом их индивидуальных психофизических особенностей. Для лиц с нарушением слуха информация по учебной дисциплине предоставляется на бумажном или электронном носителе, допускается присутствие ассистентов и сурдопереводчиков на занятиях. Промежуточная аттестация для таких студентов проводится в письменной форме с общими критериями оценивания; при необходимости время подготовки на зачете может быть увеличено.

Для лиц с нарушением зрения допускается аудиальное предоставление информации с использованием программ-синтезаторов речи, а также использование звукозаписывающих устройств на лекциях. На занятиях также может присутствовать ассистент. При проведении промежуточной аттестации для лиц с нарушением зрения тестирование может быть заменено на устное собеседование; время подготовки на зачете может быть увеличено.

Студенты с нарушениями опорно-двигательного аппарата могут проходить часть занятий дистанционно. Промежуточная аттестация для них проводится на общих основаниях, при необходимости процедура зачета может быть реализована дистанционно.

При реализации дисциплины с использованием дистанционных образовательных технологий используются инструменты электронной информационно-образовательной среды ВГУ «Электронный университет ВГУ» (<https://edu.vsu.ru>) и/или «MOOK ВГУ» (<https://mooc.vsu.ru>), сервисы видеоконференций (BigBlueButton), электронная почта, мессенджеры и соцсети.

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Дамаскин Б.Б. Электрохимия : [учебное пособие для студ., обуч. по направлению подгот. "Химия"] / Б.Б. Дамаскин, О. А. Петрий, Г. А. Цирлина .— Изд. 3-е, испр. — Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2015 .— 670 с.
2	Еремин В.В. Основы физической химии. Учебное пособие в 2 ч. 1 / В.В. Еремин .— 3-е изд. эл. — Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013 .— 322 с. — <URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=214231 >.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
3	Ролдугин В.И. Физикохимия поверхности / В.И. Ролдугин. – М. : ЦУП Интеллект, 2008. – 568 с.
4	Дамаскин Б.Б. Адсорбция органических соединений на электродах / Б.Б.Дамаскин, О.А.Петрий, В.В.Батраков – М. : Наука, 1968. – 334 с.
5	Делахей П. Двойной слой и кинетика электродных процессов / П. Делахей – М. : Мир, 1967. – 351 с.
6	Грег С. Адсорбция, удельная поверхность, пористость / С. Грег, К. Синг ; пер. с англ. В.А. Эльтекова, Ю.А. Эльтекова; под ред. К.В. Чмутова .— М. : Мир, 1970 .— 407 с.
7	Когановский А. М. Адсорбция растворенных веществ / А.М. Когановский, Т.М. Левченко, В.А. Кириченко ; АН УССР, Ин-т коллоидной химии и химии воды .— Киев : Наукова думка, 1977 .— 223 с.

8	Электродные процессы в растворах органических соединений: учеб. пособие /под ред. Б.Б. Дамаскина – М. : Изд-во Московск. ун-та, 1985. – 312 с.
---	--

в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

№ п/п	Ресурс
9	ЗНБ ВГУ www.lib.vsu.ru
10	Интернет портал образовательных ресурсов http://window.edu.ru
11	Интернет портал для химиков http://www.chemweb.com
12	Интернет-ресурсы - библиотека http://www.twirpx.com
	ЭУМК «Физикохимия процессов адсорбции» https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=10582

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ п/п	Источник
1	Введенский А.В., Морозова Н.Б., Бобринская Е.В. Физикохимия процессов адсорбции. Учебно-методическое пособие. — Воронеж. Издательский дом ВГУ. — 2019. — 134 с.
2	Равновесные электродные системы. Граница раздела заряженных фаз : практикум по спец. 011000- Химия / сост.: А.В. Введенский [и др.]. — Воронеж, 2003-. Ч. 3 / Сост.: А.В. Введенский, Е.В. Бобринская, И.В. Протасова, Н.В. Соцкая. — 79 с. : (№ 719) — <URL: http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/jan04059.pdf >.
3	Сборник примеров и задач по электрохимии : учебное пособие / [А.В. Введенский и др.] .— Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2018 .— 204, [1] с.

17. Информационные технологии, используемые для реализации учебной дисциплины, включая программное обеспечение и информационно-справочные системы (при необходимости)

При реализации дисциплины проводятся лекции, текущая аттестация в форме контрольных работ и тестирования, практические занятия.

При реализации учебной дисциплины используются дистанционные образовательные технологии, позволяющие обеспечивать опосредованное взаимодействие (на расстоянии) преподавателей и обучающихся, включая инструменты электронной информационно-образовательной среды ВГУ «Электронный университет ВГУ» (<https://edu.vsu.ru>) и/или «МООК ВГУ» (<https://mooc.vsu.ru>), проведение вебинаров, видеоконференций (в том числе с применением сервисов Zoom, Discord и др.), взаимодействие в соцсетях, посредством электронной почты, мессенджеров.

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Лекционные и практические занятия
Учебная (лекционная) аудитория 167: типовое оборудование учебной аудитории, доска, ноутбук, проектор, экран.
Программные продукты, Microsoft Windows WinSvrStd 2012 RUS OLP; NL Acdmc 2 Proc; ПО ЭВМ MicrosoftImagine; Premium Renewed Subscription
Помещение для самостоятельной работы обучающихся, ауд. 271 - Дисплейный класс. Учебная мебель, компьютеры с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ВГУ - 12 шт, принтер лазерный HP - 3 шт, мультимедиа-проектор 2 шт, ноутбук, экран на треноге

19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	Адсорбция. Основные понятия. Изотермы адсорбции.	ПК- 1 ПК- 3	ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-3.1, ПК-3.2	Решение практических заданий, решение тестовых заданий
2.	Термодинамика и кинетика адсорбции.	ПК- 1 ПК- 3	ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-3.1, ПК-3.2	Решение практических заданий, решение тестовых заданий
3.	Нанохимия. Наноразмерные системы	ПК- 1 ПК- 3	ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-3.1, ПК-3.2	Решение практических заданий, решение тестовых заданий
4.	Поверхностные явления в электрохимии	ПК- 1 ПК- 3	ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-3.1, ПК-3.2	Решение практических заданий, решение тестовых заданий

20. Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины осуществляется в ходе текущих и промежуточных аттестаций.

20.1. Текущая аттестация

20.1. Текущий контроль успеваемости

Текущие аттестации проводятся в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Текущие аттестации проводятся в форме контрольной работы и тестового опроса в системе "Электронный университет ВГУ". Критерии оценивания приведены ниже.

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

ПК-1

1) тестовые вопросы:

1. Укажите понятие, отвечающее определению (одним словом): "Концентрирование вещества на поверхности раздела фаз адсорбент - адсорбат".
2. В уравнении Леннарда – Джонса параметр ϕ – это
 - 1) потенциал взаимодействия молекулы с одним атомом неполярной решетки;
 - 2) потенциал неполярной решетки;
 - 3) потенциал взаимодействия полярной молекулы с положительным атомом полярной решетки
3. Укажите типы взаимодействий, характерные для физической адсорбции
 - 1) дисперсионные силы;
 - 2) ориентационные силы;
 - 3) индукционные силы;
 - 4) образование водородной связи;
 - 5) донорно-акцепторные взаимодействия;

- б) химическая реакция с образованием нового поверхностного химического соединения
4. Укажите типы взаимодействий, характерные для химической адсорбции
- 1) дисперсионные силы;
 - 2) ориентационные силы;
 - 3) индукционные силы;
 - 4) образование водородной связи;
 - 5) донорно-акцепторные взаимодействия;
 - б) химическая реакция с образованием нового поверхностного химического соединения
5. Изотерма Ленгмюра имеет вид
- 1) параболический;
 - 2) линейный;
 - 3) сложный.
6. По своему физическому смыслу поверхностное натяжение – это
- 1) работа обратимого процесса;
 - 2) сила, сокращающая энергию до минимума;
 - 3) удельная свободная поверхностная энергия.
7. Поверхностные явления обусловлены:
- 1) нескомпенсированностью энергии атомов;
 - 2) концентрированием вещества на границе раздела фаз;
 - 3) избытком поверхностной энергии.
8. Укажите причины отрицательной адсорбции
- 1) выталкивание частиц из объема на поверхность
 - 2) взаимное притяжение между поверхностью и частицами раствора
 - 3) втягивание сильно сольватированных частиц с поверхности в объем раствора
 - 4) отталкивание ионов от одноименно заряженной поверхности
9. Укажите причины положительной адсорбции
- 1) выталкивание частиц из объема на поверхность
 - 2) взаимное притяжение между поверхностью и частицами раствора
 - 3) втягивание сильно сольватированных частиц с поверхности в объем раствора
 - 4) отталкивание ионов от одноименно заряженной поверхности
10. Укажите тип преимущественного взаимодействия при адсорбции воды, спирта или эфира на гидроксильной поверхности кремнезема
- 1) дисперсионное взаимодействие
 - 2) ориентационное взаимодействие
 - 3) индукционное взаимодействие
 - 4) образование водородной связи
 - 5) донорно-акцепторное взаимодействие
 - б) химическая реакция с образованием нового поверхностного химического соединения
11. Линейная зависимость степени заполнения от давления (концентрации) адсорбата характерна для изотермы ... (укажите фамилию)
12. Увеличение концентрации гидроксильных или других активных функциональных групп на поверхности адсорбента снижает энергию адсорбции неполярных молекул.
- Верно
 - Неверно

ПК-3

1) тестовые задания:

1. Гетерогенно-каталитическая реакция протекает за счет превращения адсорбированной молекулы на активном центре или за счет взаимодействия с другой

молекулой на соседнем центре. Формальным аналогом закона действующих масс в кинетике гетерогенно-каталитических реакций или, в общем случае, в кинетике процессов на твердых поверхностях является закон действующих ... (укажите пропущенное слово).

2. Чистая теплота адсорбции – это

- 1) разность между теплотой адсорбции и теплотой конденсации;
- 2) теплота адсорбции при абсолютном нуле;
- 3) теплота адсорбции при нормальных условиях.

3. Механизм каталитической реакции называют адсорбционным механизмом ...

- 1) на неоднородных поверхностях
- 2) на однородных центрах
- 3) механизмом Ленгмюра-Хиншелвуда

4. Адсорбция и катализ связаны

- 1) величиной общего числа адсорбционных центров на поверхности
- 2) долей центров, заполненных адсорбированными веществами
- 3) долей свободных центров

5. Константа термодинамического равновесия для обменного процесса адсорбции

- 1) не зависит от температуры
- 2) не зависит от поверхностного натяжения раствора
- 3) не зависит от количества адсорбируемого вещества

6. Кинетика сложных каталитических реакций по Темкину связывает константу скорости и константу равновесия коэффициентом линейности α , который

- 1) принимает значения $\alpha < 0$
- 2) преимущественно равен 0,5
- 3) принимает значения > 1

7. Равновесная константа адсорбции

- 1) не зависит от концентрации адсорбата
- 2) линейно зависит от концентрации адсорбата
- 3) постоянна при любых условиях

8. Общим условием равновесия замкнутой системы при постоянных S , V , n является:

- 1) минимум внутренней энергии
- 2) постоянство давления в системе
- 3) заполнение всех адсорбционных мест поверхностного слоя

9. Вторичный размерный каталитический эффект связан

- 1) только с размером наночастиц
- 2) количеством наночастиц
- 3) межкластерными взаимодействиями

10. Константа равновесия реакции с участием наночастиц

- 1) возрастает с уменьшением размера наночастиц исходных веществ
- 2) возрастает с уменьшением размера наночастиц продуктов
- 3) не изменяется

11. Положение максимума электрокапиллярной кривой определяет

- 1) равновесный потенциал
- 2) потенциал нулевого заряда
- 3) потенциал адсорбции

12. Частным случаем основного уравнения электрокапиллярности Фрумкина при постоянном составе раствора является

- 1) уравнение электрокапиллярности Липпмана
- 2) уравнение Гиббса для поверхностного натяжения
- 3) уравнение Ленгмюра для степени заполнения поверхности

Требования к выполнению заданий (или шкалы и критерии оценивания)

Критерии оценивания компетенций	Шкала оценок
<i>Обучающийся правильно выполнил более 50 % тестовых заданий</i>	<i>Зачтено</i>
<i>Обучающийся правильно выполнил менее 50 % тестовых заданий</i>	<i>Не зачтено</i>

20.2. Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования.

Описание технологии проведения

Промежуточная аттестация студентов является основной формой контроля аудиторной работы студентов и проводится с целью установления уровня и качества подготовки студентов и определяет:

- полноту и прочность теоретических знаний;
- сформированность умений применять теоретические знания при решении практических и задач;
- сформированность необходимых компетенций.

Подготовка к промежуточной аттестации является формой самостоятельной работы студентов. При этом обучающийся должен использовать рекомендованный рабочей программой перечень основной и дополнительной литературы, материалы лекций, информационные и электронно-образовательные ресурсы. Для подготовки к промежуточной аттестации студент также может использовать перечень вопросов, вынесенных на зачет, позволяющий оценить уровень сформированности компетенций по дисциплине.

Промежуточная аттестация проводится в устной форме. Преподаватель, проводящий промежуточную аттестацию, имеет право задавать студентам дополнительные вопросы по всему разделу программы учебной дисциплины. Время проведения зачета устанавливается нормами времени. Результат сдачи промежуточной аттестации заносится преподавателем в зачетно-экзаменационную ведомость и зачетную книжку.

Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации (зачет) включают в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний и степень сформированности умений и навыков. При оценивании знаний используются следующие показатели:

- 1) знание основных термодинамических и кинетических закономерностей адсорбционных процессов;
- 2) знание принципов построения изотерм адсорбции;
- 3) знание физико-химических условий, определяющих форму изотермы;
- 4) умение оценивать возможность реализации определенного типа равновесной адсорбционной изотермы по опытным данным;
- 5) умение определять параметры равновесия процесса адсорбции и его скорость;
- 6) владение основными расчетными методами анализа адсорбционных явлений применительно к электрохимическим процессам.

Зачет проводится в устной форме (собеседование). КИМ по предмету содержит 2 вопроса по различным темам курса. На подготовку ответа студенту дается 30-40 минут. Ответ оформляется на отдельном листе в рукописном виде и после собеседования остается у экзаменатора. Во время подготовки ответа на вопросы КИМ студент не может использовать конспекты лекций, учебники и пользоваться интернет-ресурсами. Ответ должен содержать основные математические уравнения и уравнения реакций, графический материал. Определения студент может формулировать в устной форме. По окончании ответа студента экзаменатор может задать ему несколько дополнительных вопросов по материалу курса, включая и вопросы, которые студент должен был освоить в ходе самостоятельной работы. Продолжительность проведения экзамена

устанавливается нормами времени. Результат сдачи промежуточной аттестации заносится преподавателем в зачетно-экзаменационную ведомость и зачетную книжку.

Для оценивания результатов обучения на экзамене используются следующие показатели:

Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Базовые знания теоретических основ процессов адсорбции. Их применение для решения практических задач по основным разделам курса. Наличие аргументированного ответа на вопросы. Допускаются незначительные ошибки и неточности, которые исправляются после замечания преподавателя	<i>Пороговый уровень</i>	<i>Зачтено</i>
Отрывочные знания. Грубые принципиальные ошибки при ответе на вопрос. Неумение решать простейшие практические задачи	–	<i>Не зачтено</i>

При реализации дисциплины с применением дистанционных образовательных технологий зачет может быть выставлен по результатам текущей аттестации обучающегося в семестре. По результатам всех выполненных заданий текущего контроля студентам может быть выставлена зачетная оценка автоматически:

средняя оценка равна или выше 3 – «зачтено»,

средняя оценка ниже 3 – «не зачтено».

Оценочные средства для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья выбираются с учетом их индивидуальных психофизических особенностей.

– при необходимости инвалидам и лицам с ограниченными возможностями здоровья предоставляется дополнительное время для подготовки ответа на зачете;

– при проведении процедуры оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья предусматривается использование технических средств, необходимых им в связи с их индивидуальными особенностями;

– при необходимости для обучающихся с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов процедура оценивания результатов обучения по дисциплине может проводиться в несколько этапов.

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

Для лиц с нарушениями зрения:

- в печатной форме увеличенным шрифтом,
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Данный перечень может быть конкретизирован в зависимости от контингента обучающихся.

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью комплектов КИМ.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме письменных ответов на вопросы из следующего комплекта:

Комплект контрольно-измерительных материалов (КИМ)

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
физической химии
О.А. Козадеров

— · — · —

Направление подготовки / специальность 04.04.01 Химия
Дисциплина: Физико-химия процессов адсорбции
Форма обучения: очная
Вид контроля: зачет
Вид аттестации: промежуточная

Контрольно-измерительный материал № 1

1. Поверхностные явления. Адсорбция. Типы адсорбционных взаимодействий. Энергия адсорбционных сил.
2. Гомогенное и гетерогенное зародышеобразование. 3D-зародышеобразование при электрокристаллизации (теория Фольмера—Эрдей-Груза). Скорость лимитирующей стадии 2D- и 3D-зародышеобразования.

Преподаватель _____ д.х.н., доц. Козадеров О.А.

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
физической химии
О.А. Козадеров

Направление подготовки / специальность 04.04.01 Химия
Дисциплина: Физико-химия процессов адсорбции
Форма обучения: очная
Вид контроля: зачет
Вид аттестации: промежуточная

Контрольно-измерительный материал № 2

1. Изотермы адсорбции. Изотерма адсорбции Генри. Изотерма мономолекулярной адсорбции Ленгмюра.
2. Механизмы зародышеобразования. Активные центры зародышеобразования. Мгновенная и непрерывная нуклеация.

Преподаватель _____ д.х.н., доц. Козадеров О.А.

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
физической химии
О.А. Козадеров
____.____.____

Направление подготовки / специальность 04.04.01 Химия
Дисциплина: Физико-химия процессов адсорбции
Форма обучения: очная
Вид контроля: зачет
Вид аттестации: промежуточная

Контрольно-измерительный материал № 3

1. Изотерма полимолекулярной адсорбции БЭТ. Учет взаимодействия адсорбирующихся молекул. Изотерма Фрумкина (Фаулера-Гугенгейма).
2. Химическая нанотермодинамика. Энергия Гиббса дисперсного реагента и массивной фазы. Размерный эффект в электрохимической термодинамике.

Преподаватель _____ д.х.н., доц. Козадеров О.А.

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
физической химии
О.А. Козадеров
____.____.____

Направление подготовки / специальность 04.04.01 Химия
Дисциплина: Физико-химия процессов адсорбции
Форма обучения: очная
Вид контроля: зачет
Вид аттестации: промежуточная

Контрольно-измерительный материал № 4

1. Активированная адсорбция. Изотермы адсорбции на неоднородных поверхностях.
2. Нанокатализ. Первичный размерный эффект. Взаимосвязь каталитической активности и площади поверхности наночастиц.

Преподаватель _____ д.х.н., доц. Козадеров О.А.

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
физической химии
О.А. Козадеров
____.____.____

Направление подготовки / специальность 04.04.01 Химия
Дисциплина: Физико-химия процессов адсорбции
Форма обучения: очная
Вид контроля: зачет
Вид аттестации: промежуточная

Контрольно-измерительный материал № 5

1. Соотношение Бренстеда-Поляни-Семенова. Правило Темкина. Равновесные и кинетические изотермы адсорбции.
2. Нанокатализ. Вторичный размерный эффект. Перенос заряда между кластерами и носителем.

Преподаватель _____ д.х.н., доц. Козадеров О.А.

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
физической химии
О.А. Козадеров
____.____.____

Направление подготовки / специальность 04.04.01 Химия
Дисциплина: Физико-химия процессов адсорбции
Форма обучения: очная
Вид контроля: зачет
Вид аттестации: промежуточная

Контрольно-измерительный материал № 6

1. Кинетика Ленгмюра-Хиншелвуда. Закон действующих поверхностей.
2. Поверхностные явления в электрохимии. Количественное описание адсорбции на электроде Поверхностная концентрация и поверхностный избыток.

Преподаватель _____ д.х.н., доц. Козадеров О.А.

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
физической химии
О.А. Козадеров
____.____.____

Направление подготовки / специальность 04.04.01 Химия
Дисциплина: Физико-химия процессов адсорбции
Форма обучения: очная
Вид контроля: зачет
Вид аттестации: промежуточная

Контрольно-измерительный материал № 7

1. Кинетика сложных каталитических реакций по Тёмкину.
2. Потенциал нулевого заряда. Двойной электрический слой (ДЭС). Адсорбционный метод изучения ДЭС.

Преподаватель _____ д.х.н., доц. Козадеров О.А.

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
физической химии
О.А. Козадеров
____.____.____

Направление подготовки / специальность 04.04.01 Химия
Дисциплина: Физико-химия процессов адсорбции
Форма обучения: очная
Вид контроля: зачет
Вид аттестации: промежуточная

Контрольно-измерительный материал № 8

1. Связь энергии Гиббса с размером частиц. Химический потенциал вещества в дисперсной фазе.
2. Электрокапиллярные явления. Уравнения электрокапиллярности Фрумкина и Липпмана.

Преподаватель _____ д.х.н., доц. Козадеров О.А.

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
физической химии
О.А. Козадеров
_____._____

Направление подготовки / специальность 04.04.01 Химия
Дисциплина: Физико-химия процессов адсорбции
Форма обучения: очная
Вид контроля: зачет
Вид аттестации: промежуточная

Контрольно-измерительный материал № 9

1. Кристаллизация переохлажденной жидкости. Критический зародыш новой фазы.
2. Электрокапиллярные кривые. Роль состава и концентрации раствора. Специфическая адсорбция ионов.

Преподаватель _____ д.х.н., доц. Козадеров О.А.

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
физической химии
О.А. Козадеров
_____._____

Направление подготовки / специальность 04.04.01 Химия
Дисциплина: Физико-химия процессов адсорбции
Форма обучения: очная
Вид контроля: зачет
Вид аттестации: промежуточная

Контрольно-измерительный материал № 10

1. Уравнение Гиббса-Томсона. Электродный потенциал металлов в наноразмерном состоянии.
2. Учет строения двойного электрического слоя и ψ' – потенциала в кинетике электродных реакций на примере реакции выделения водорода.

Преподаватель _____ д.х.н., доц. Козадеров О.А.

20.3. Фонды оценочных средств для проведения диагностических работ с целью оценки остаточных знаний по результатам освоения дисциплины

ПК-1

1) открытые задания (мини-кейсы, средний уровень сложности):

1. Укажите понятие, отвечающее определению (одним словом): "Концентрирование вещества на поверхности раздела фаз адсорбент - адсорбат".
2. Линейная зависимость степени заполнения от давления (концентрации) адсорбата характерна для изотермы ... (укажите фамилию)

2) закрытые задания (тестовые, средний уровень сложности):

3. Укажите типы взаимодействий, характерные для физической адсорбции
 - 1) дисперсионные силы;
 - 2) ориентационные силы;
 - 3) индукционные силы;
 - 4) образование водородной связи;
 - 5) донорно-акцепторные взаимодействия;
 - 6) химическая реакция с образованием нового поверхностного химического соединения
4. Укажите типы взаимодействий, характерные для химической адсорбции
 - 1) дисперсионные силы;
 - 2) ориентационные силы;
 - 3) индукционные силы;
 - 4) образование водородной связи;
 - 5) донорно-акцепторные взаимодействия;
 - 6) химическая реакция с образованием нового поверхностного химического соединения
5. Изотерма Ленгмюра имеет вид
 - 1) параболический;
 - 2) линейный;
 - 3) сложный.
6. По своему физическому смыслу поверхностное натяжение – это
 - 1) работа обратимого процесса;
 - 2) сила, сокращающая энергию до минимума;
 - 3) удельная свободная поверхностная энергия.
7. Поверхностные явления обусловлены:
 - 1) нескомпенсированностью энергии атомов;
 - 2) концентрированием вещества на границе раздела фаз;
 - 3) избытком поверхностной энергии.
8. Укажите причины отрицательной адсорбции
 - 1) выталкивание частиц из объема на поверхность
 - 2) взаимное притяжение между поверхностью и частицами раствора
 - 3) втягивание сильно сольватированных частиц с поверхности в объем раствора
 - 4) отталкивание ионов от одноименно заряженной поверхности
9. Укажите причины положительной адсорбции
 - 1) выталкивание частиц из объема на поверхность
 - 2) взаимное притяжение между поверхностью и частицами раствора
 - 3) втягивание сильно сольватированных частиц с поверхности в объем раствора
 - 4) отталкивание ионов от одноименно заряженной поверхности
10. Укажите тип преимущественного взаимодействия при адсорбции воды, спирта или эфира на гидроксильной поверхности кремнезема
 - 1) дисперсионное взаимодействие
 - 2) ориентационное взаимодействие

- 3) индукционное взаимодействие
 - 4) образование водородной связи
 - 5) донорно-акцепторное взаимодействие
 - 6) химическая реакция с образованием нового поверхностного химического соединения
11. В уравнении Леннарда – Джонса параметр ϕ – это
- 1) потенциал взаимодействия молекулы с одним атомом неполярной решетки;
 - 2) потенциал неполярной решетки;
 - 3) потенциал взаимодействия полярной молекулы с положительным атомом полярной решетки
12. Увеличение концентрации гидроксильных или других активных функциональных групп на поверхности адсорбента снижает энергию адсорбции неполярных молекул.
- 1) Верно
 - 2) Неверно

КЛЮЧИ ПК-1

Вопросы	1	2	3	4	5	6	7	8
Ответы	адсорбция	Генри	123	456	1	123	123	34
Вопросы	9	10	11	12				
Ответы	12	4	1	2				

ПК-3

1) открытые задания (мини-кейсы, средний уровень сложности):

1. Гетерогенно-каталитическая реакция протекает за счет превращения адсорбированной молекулы на активном центре или за счет взаимодействия с другой молекулой на соседнем центре. Формальным аналогом закона действующих масс в кинетике гетерогенно-каталитических реакций или, в общем случае, в кинетике процессов на твердых поверхностях является закон действующих ... (укажите пропущенное слово).

2) закрытые задания (тестовые, средний уровень сложности):

2. Чистая теплота адсорбции – это
 - 1) теплота адсорбции при абсолютном нуле;
 - 2) разность между теплотой адсорбции и теплотой конденсации;
 - 3) теплота адсорбции при нормальных условиях.
3. Механизм каталитической реакции называют адсорбционным механизмом ...
 - 1) на неоднородных поверхностях
 - 2) на однородных центрах
 - 3) или механизмом Ленгмюра-Хиншеллвуда
4. Адсорбция и катализ связаны
 - 1) величиной общего числа адсорбционных центров на поверхности
 - 2) долей центров, заполненных адсорбированными веществами
 - 3) долей свободных центров
5. Константа термодинамического равновесия для обменного процесса адсорбции
 - 1) не зависит от температуры
 - 2) не зависит от поверхностного натяжения раствора
 - 3) не зависит от количества адсорбируемого вещества
6. Кинетика сложных каталитических реакций по Темкину связывает константу скорости и константу равновесия коэффициентом линейности α , который
 - 1) принимает значения $\alpha < 0$
 - 2) преимущественно равен 0,5
 - 3) принимает значения $\alpha > 1$

7. Равновесная константа адсорбции
 - 1) не зависит от концентрации адсорбата
 - 2) линейно зависит от концентрации адсорбата
 - 3) постоянна при любых условиях
8. Общим условием равновесия замкнутой системы при постоянных S , V , n является:
 - 1) минимум внутренней энергии
 - 2) постоянство давления в системе
 - 3) заполнение всех адсорбционных мест поверхностного слоя
9. Вторичный размерный каталитический эффект связан
 - 1) только с размером наночастиц
 - 2) количеством наночастиц
 - 3) межкластерными взаимодействиями
10. Константа равновесия реакции с участием наночастиц
 - 1) не изменяется
 - 2) возрастает с уменьшением размера наночастиц исходных веществ
 - 3) возрастает с уменьшением размера наночастиц продуктов
11. Положение максимума электрокапиллярной кривой определяет
 - 1) равновесный потенциал
 - 2) потенциал нулевого заряда
 - 3) потенциал адсорбции
12. Частным случаем основного уравнения электрокапиллярности Фрумкина при постоянном составе раствора является
 - 1) уравнение электрокапиллярности Липпмана
 - 2) уравнение Гиббса для поверхностного натяжения
 - 3) уравнение Ленгмюра для степени заполнения поверхности

КЛЮЧИ ПК-3

Вопросы	1	2	3	4	5	6	7	8
Ответы	поверхностей	2	23	123	23	2	1	1
Вопросы	9	10	11	12				
Ответы	3	20	2	1				

Для оценивания выполнения заданий используется балльная шкала:

1) открытые задания (мини-кейсы, средний уровень сложности):

- 2 балла – задание выполнено верно (получен правильный ответ, обоснован (аргументирован) ход выполнения (при необходимости));
- 1 балл - выполнение задания содержит незначительные ошибки, в целом дан правильный ответ, но неверно аргументирован и обоснован;
- 0 баллов – задание не выполнено или выполнено неверно (ход выполнения ошибочен или содержит грубые ошибки, значительно влияющие на дальнейшее его изучение).

2) закрытые задания (тестовые, средний уровень сложности):

- 1 балл – указан верный ответ;
- 0 баллов – указан неверный ответ, в том числе частично.