

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФГАОУ ВО "Новосибирский национальный
исследовательский государственный университет"**

Факультет естественных наук

УТВЕРЖДАЮ



Декан ФЕН НГУ, профессор

Резников В.А.

«29» августа 2014 г.

Адсорбция и пористая структура

**Модульная программа лекционного курса, семина-
ров, практикума и самостоятельной работы студентов**

Курс 4-й, VII семестр

Учебно-методический комплекс

Новосибирск 2014

Учебно-методический комплекс предназначен для студентов IV курса, специализирующихся на кафедре «Катализ и адсорбция» факультета естественных наук, направление подготовки 020100 «Химия (бакалавр)», Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Новосибирский национальный исследовательский государственный университет" (НГУ).

В состав пособия включены: программа курса лекций, структура курса и правила ИКИ, программа лабораторных работ по адсорбции. Кроме того, приведен набор задач для самостоятельной работы студентов с использованием учебной литературы и персонального компьютера и даны примеры вариантов контрольных работ и задач, предложенных на экзаменах в прошлые годы.

Составители

Фенелонов В.Б., проф., Мельгунов М.С., ст. преп.,
Аюпов А.Б., ассист.

© Новосибирский государственный
университет, 2014

Оглавление

Аннотация рабочей программы	4
1. Цели освоения дисциплины	6
2. Место дисциплины в структуре ООП	7
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины «Адсорбция и пористая структура»	9
4. Структура и содержание дисциплины.....	12
4.1. Рабочий план по неделям	13
4.2. Программа курса лекций.....	16
Раздел I. Пористая структура.....	16
Раздел II. Адсорбция на плоской поверхности	16
Раздел III. Основы капиллярных явлений на искривленной поверхности	18
Раздел IV. Механизмы формирования пористых материалов	19
5. Образовательные технологии.....	21
6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины	23
6.1. Рекомендованная литература к теоретическому курсу	23
6.2. Правила ИКИ.....	24
6.3. Контрольные точки	27
6.4. Домашнее задание.....	27
6.5. Лабораторные работы по адсорбции.....	28
План прохождения лабораторных работ	33
Литература к лабораторным работам.....	35
Оформление отчета о лабораторной работе	35
6.7. Примеры вариантов контрольных работ	40
6.8. Перечень теоретических вопросов к экзамену по адсорбции и пористости	43
7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.....	48
8. Материально-техническое обеспечение дисциплины	49

Аннотация рабочей программы

Дисциплина «Адсорбция и пористая структура» относится к вариативной части (профильные дисциплины) профессионального (специального) цикла ООП по направлению подготовки «020100 ХИМИЯ» (квалификация (степень) бакалавр). Дисциплина реализуется на Факультете естественных наук Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Новосибирский национальный исследовательский государственный университет" (НГУ) кафедрой катализа и адсорбции.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с адсорбционными свойствами и пористой структурой катализаторов, адсорбентов и других материалов, адсорбционными методами определения основных текстурных характеристик и механизмами формирования текстуры на типовых стадиях синтеза.

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника общекультурных компетенций: ОК-6, ОК-7, ОК-9, ОК-10, ОК-11, ОК-12, ОК-15; профессиональных компетенций: ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-6, ПК-7, ПК-8, ПК-9.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, семинарские занятия, лабораторные работы, контрольные работы, коллоквиумы, сдача экзамена, самостоятельная работа студента.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

Текущий контроль. Прохождение студентами курса проходит с использованием системы ИКИ (индивидуального кумулятивного индекса). В течение всего семестра студенты посещают лекции, что контролируется лектором. Также студенты проходят следующие контрольные точки: пишут четыре контрольные работы, готовят и докладывают презентацию по теме, связанной с дипломной темой студента и основным содержанием курса «Адсорбция и пористая структура», сдают лабораторные работы по адсорбции. Кроме того, преподаватель оценивает уровень подготовки студента к каждому семинарскому занятию. Все контрольные точки оцениваются баллами, и к концу семестра каждый студент набирает некоторую сум-

му баллов, которая при преодолении заранее определенного барьера (см. стр. 25 и далее) может привести к получению им итоговой оценки «автоматом» (от «удовлетворительно» до «отлично»). Непрохождение обязательной контрольной точки студентом является причиной недопуска к экзамену и, как следствие, его неаттестации по всему курсу.

Итоговый контроль. Итоговую оценку по курсу «Адсорбция и пористая структура» студент может получить на устном экзамене в конце семестра, где студент имеет возможность либо повысить оценку, полученную им «автоматом», либо получить любую положительную или неудовлетворительную оценку в случае отсутствия у него «оценки-автомата» по результатам системы ИКИ.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц. Всего 180 академических часов. Программой дисциплины предусмотрены 40 часов лекционных, 22 часа семинарских занятий, 18 часов лабораторных работ, 28 часов прохождения контрольных точек в течение семестра (включая домашнее задание), а также 72 часа самостоятельной работы студентов.

1. Цели освоения дисциплины

Дисциплина «Адсорбция и пористая структура» предназначена для получения студентами знаний о строении, особенностях формирования пористых материалов и методах их исследования. На лекциях даются основные представления о строении пористой структуры материалов, адсорбции, и её связи с пористой структурой, механизмах формирования пористой структуры материалов, практическом использовании пористых материалов как адсорбентов и носителей катализаторов. На семинарских занятиях студенты учатся использовать методологию предмета для решения различных задач теоретического плана, направленных на прогнозирование адсорбционных свойств и генезиса пористой структуры материалов. При выполнении лабораторной работы студенты получают начальные навыки проведения и анализа результатов адсорбционного эксперимента.

Задачи учебного курса «Адсорбция и пористая структура» состоят в том, чтобы дать студентам современные представления о:

- супрамолекулярной структуре (текстуре) гетерогенных катализаторов, их носителей, адсорбентов и других пористых материалов, о структурном многообразии реальных пористых материалов, методах их классификации и моделирования, системном наборе моделей для анализа особенностей процессов на различных иерархических уровнях геометрического строения;

- соотношениях между основными геометрическими параметрами: удельной поверхностью, пористостью, средними размерами частиц и пор, современных подходах к моделированию, основанных на теории перколяции, фракталах, мозаиках Вороного-Делоне и т.д.;

- дисперсности и избыточной поверхностной энергии наноматериалов; природе межмолекулярных взаимодействий, приводящих к физической адсорбции, различиях между физической и химической адсорбцией;

- динамическом характере физадсорбции, особенностях монослойной и полимолекулярной адсорбции, физической адсорбции в микропорах и капиллярной конденсации в нанопорах, основных уравнениях классической теории физической адсорбции и современных подходах, основанных на численных методах;

-экспериментальных методах адсорбционных измерений удельной поверхности, пористости, распределения объема и поверхности пор по характерным размерам пор, а также парциальной поверхности;

-термодинамических особенностях поверхностно-капиллярных явлений в наносистемах, основных законах капиллярности, связанных с избыточной энергией и кривизной поверхности;

-механизмах перераспределения жидкой фазы при пропитке, сушке, получении жидкофазных нанесенных катализаторов, роли этих стадий при приготовлении нанесенных катализаторов, способах управления распределением нанесенных компонентов;

-принципах формирования высокодисперсных систем, механизмах гомогенной и гетерогенной нуклеации, агрегации наночастиц и массообмена между ними;

-типовых механизмах формирования и модификации супрамолекулярной структуры силикагелей и специфике трансформаций кристаллизующихся систем; особенностях формирования пористых углеродных материалов;

-особенностях формирования материалов с регулярной наноструктурой (цеолиты, пилларированные слоистые материалы, нанопористые мезофазы и др.) на основе механизмов молекулярного узнавания и селекции.

Основной целью освоения дисциплины является изучение студентами основных положений физической химии дисперсных и пористых систем, умение пользоваться ими, и на этой основе – понимание студентами сложных физико-химических процессов происходящих на поверхности и в объеме дисперсных материалов.

2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Адсорбция и пористая структура» является частью профессионального (специального) цикла ООП, вариативная часть (профильные дисциплины), по направлению подготовки «020100 ХИМИЯ», уровень подготовки – «бакалавр».

Дисциплина «Адсорбция и пористая структура» опирается на следующие дисциплины данной ООП:

- Физическая химия (строение и свойства атома, природа химической связи, дисперсионные взаимодействия, адсорбция, капиллярные силы, конденсация, фазовые превращения);

- Неорганическая химия (строение и свойства атомов, строение молекул, химическая связь, свойства кислых, основных и амфотерных оксидов);
- Основы компьютерной грамотности (навыки обращения с ПК);
- Аналитическая химия (химические равновесия, основы теории осаждения);
- Органическая химия (природа ковалентной связи, электрофильные и нуклеофильные взаимодействия, катализ);
- Теоретическая электрохимия и инструментальные методы анализа (теория растворов электролитов);
- Химическая термодинамика (фазовые превращения, статистические распределения, соотношения между термодинамическими величинами);
- Физика (статистическая механика, термодинамика);
- Химия твердого тела (строение кристаллических тел, аморфные материалы);
- Общая химическая технология (основные технологические приемы получения твердых веществ в химической промышленности);
- Химическая кинетика (формальная кинетика, теория стационарных реакций, катализ);
- Математический анализ (теория решения дифференциальных уравнений, численные методы);
- Теория вероятностей и математическая статистика (статистические распределения случайных величин);
- Английский язык (чтение оригинальной литературы по специальности).

Результаты освоения дисциплины «Адсорбция и пористая структура» используются в следующих дисциплинах данной ООП:

- Катализ;
- Научные основы приготовления катализаторов;
- Физические методы в катализе и адсорбции;
- Кинетика гетерогенных каталитических реакций;
- Термодинамика функционирующего катализатора;
- Инженерная химия;

- Катализ, окружающая среда и устойчивое развитие цивилизации;
- Современная техника каталитических экспериментов;
- Молекулярный дизайн катализаторов;
- Институтская практика.

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины «Адсорбция и пористая структура»

Общекультурные компетенции:

- *использует основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применяет методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования (ОК-6);*
- *умеет работать с компьютером на уровне пользователя и способен применять навыки работы с компьютерами как в социальной сфере, так и в области познавательной и профессиональной деятельности (ОК-7);*
- *владеет основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, имеет навыки работы с компьютером как средством управления информацией (ОК-9);*
- *умеет работать с информацией в глобальных компьютерных сетях (ОК-10);*
- *владеет развитой письменной и устной коммуникацией, включая иноязычную культуру (ОК-11);*
- *владеет одним из иностранных языков (преимущественно английским) на уровне чтения научной литературы и навыков разговорной речи (ОК-12);*
- *обладает способностью в условиях развития науки и техники к критической переоценке накопленного опыта и творческому анализу своих возможностей (ОК-15).*

Профессиональные компетенции:

- *понимает сущность и социальную значимость профессии, основных перспектив и проблем, определяющих конкретную область деятельности (ПК-1);*
- *владеет основами теории фундаментальных разделов химии (неорганической, аналитической, органической, физической, химии высокомолекулярных соединений, биохимии, химической технологии) (ПК-2);*
- *обладает способностью применять основные законы химии при обсуждении полученных результатов, в том числе с привлечением информационных баз данных (ПК-3);*
- *обладает навыками химического эксперимента, основными синтетическими и аналитическими методами получения и исследования химических веществ и реакций (ПК-4);*
- *обладает базовыми навыками работы на современных учебно-научных приборах и оборудовании при проведении химических экспериментов (ПК-6);*
- *имеет опыт работы на современном стандартном оборудовании, применяемом в аналитических и физико-химических исследованиях (ПК-7);*
- *владеет методами регистрации и обработки результатов химически экспериментов (ПК-8);*
- *владеет методами безопасной работы в химической лаборатории и обращения с химическими материалами с учетом их физических и химических свойств, способностью проводить оценку возможных рисков (ПК-9).*

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

- иметь представление о многообразии супрамолекулярной структуры (текстуры) гетерогенных катализаторов и носителей, типовых текстурных характеристиках и взаимосвязи между ними;
- знать основные физико-химические процессы, происходящие на поверхности и в пористом пространстве катализатора при адсорбции, введении или удалении части компонентов, массообмене на молекулярном уровне и уровне наноча-

стиц на типовых стадиях формирования и эксплуатации катализатора;

- понимать особенности методов проведения адсорбционных экспериментов для определения удельной поверхности, пористости, распределения частиц и пор по характерным размерам; основные подходы, используемые для моделирования геометрической структуры нанодисперсных материалов;
- уметь использовать закономерности поверхностно-капиллярных явлений и супрамолекулярной химии для оптимизации формирования наноструктуры катализаторов и носителей.

4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, всего 180 академических часов.

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)								Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)	
				Лекция	Семинарские занятия	Лабор. работа	Контр. Работа	Коллоквиумы	Домашние задания	Самост. работа	Зачет		Экзамен
1.1	Пористая структура	7	1-4	8	4		2		2	6			Контрольная работа
1.2	Адсорбция на плоской поверхности	7	4-6	12	4		4		2	8			Контрольная работа
1.3	Основы капиллярных явлений на искривленной поверхности	7	7-9	4	4		4		2	4			Контрольная работа
1.4	Механизмы формирования пористых материалов	7	9-16	16	4		4	4	4	12			Коллоквиумы, Контрольная работа
1.5	Лабораторный практикум	7	14-16			18		4		10			Коллоквиумы
		7								32		2	Экзамен
	Итого за семестр	7		40	16	18	14	8	10	72		2	Всего 180 час

4.1. Рабочий план по неделям

Неделя	Темы занятий
СЕНТЯБРЬ 1, 2 недели	<p>Лекция 1. Введение. Роль поверхности, пористой структуры и адсорбционных явлений в химии.</p> <p>Лекция 2. Текстурное многообразие пористых материалов.</p> <p>Лекция 3. Элементы моделирования пористой структуры.</p> <p>Лекция 4. Экстенсивные и интенсивные параметры пористой структуры.</p>
3-я неделя	<p>Семинар 1. Основные взаимосвязи между параметрами пористой структуры.</p> <p>Семинар 2. Практическое применение правил использования экстенсивных и интенсивных параметров пористой структуры.</p> <p>На этой неделе начинается подготовка индивидуальной устной презентации о роли адсорбции и пористой структуры в теме дипломной работы студента. К этому моменту темы дипломных работ и темы устных презентации должны быть согласованы с преподавателями курса.</p>
4-я неделя	<p>Контрольная работа 1 (КР1): По материалу первых лекций и семинаров (2 часа).</p> <p>Лекция 5. Основы адсорбции.</p>
ОКТАБРЬ 1-я неделя	<p>Лекция 6. Термодинамика адсорбционных взаимодействий на плоской поверхности.</p> <p>Лекция 7. Адсорбционные фазовые диаграммы (изотермы, изобары и изостеры адсорбции).</p>
2-я неделя	<p>Лекция 8. Экспериментальные методы изучения адсорбции.</p> <p>Семинар 3. Адсорбционные равновесия.</p>
3-я неделя	<p>Лекция 9. Начальные участки изотерм адсорбции.</p> <p>Лекция 10. Парциальная поверхность многокомпонентных пористых материалов.</p>

4-я неделя	Лекция 11. Трехфазные пористые системы. Семинар 4. Способы измерения удельной поверхности из адсорбционных данных.
НОЯБРЬ 1-я неделя	Контрольная работа 2 (КР2): По материалу лекций 6-11 и семинаров 3-4 (4 часа). Продолжается подготовка индивидуальной устной презентации о роли адсорбции и пористой структуры в теме дипломной работы студента. К этому моменту должны быть определены литературные и другие источники, на основе которых будет построена презентация.
2-я неделя	Лекция 12. Капиллярные явления. Семинар 5. Капиллярные явления. Лекция 13. Современное состояние теории адсорбции и капиллярной конденсации. Семинар 6. Капиллярные явления.
3-я неделя	Контрольная работа 3 (КР3): По материалу лекций 12-13 и семинаров 5-6 (4 часа). Лекция 14. Механизмы перераспределения жидкой фазы в пористом теле. Коллоквиум 1 (К1): Индивидуальные устные презентации студентов о роли адсорбции и пористой структуры в теме их дипломной работы.
4-я неделя	Лекция 15. Фундаментальные механизмы формирования высокодисперсных систем. Семинар 7. Формирование текстуры пористых материалов. Лекция 16. Механизмы агрегации высокодисперсных частиц и массообмена между ними. Коллоквиум 1 (К1): Индивидуальные устные презентации студентов о роли адсорбции и пористой структуры в теме их дипломной работы.
ДЕКАБРЬ 1-я неделя	Лекция 17. Механизмы и стадии формирования текстуры систем, получаемых методами осаждения. Семинар 8. Формирование нанесённых катализаторов и адсорбентов. Контрольная работа 4 (КР4): По материалу лекций 14-17 и семинаров 7-8 (4 часа).
2-я неделя	Лекция 18. Самоорганизующиеся пористые материалы.

	Лабораторные работы.
3-я неделя	Лекция 19. Пористые углеродные материалы. Лабораторные работы. Коллоквиум 2 (К2): Защита лабораторных работ.
4-я неделя	Лекция 20. Прикладные задачи адсорбции. Лабораторные работы. Коллоквиум 2 (К2): Защита лабораторных работ.

4.2. Программа курса лекций

Раздел I. Пористая структура

(8 час лекций + 4 час семинары + 2 час контр работа)

Лекция 1. Введение. Роль поверхности, пористой структуры и адсорбционных явлений в химии. Определение супрамолекулярной структуры (текстуры) пористых и дисперсных материалов и её анализ.

Лекция 2. Текстурированное многообразие пористых материалов. Рассмотрены геометрическое многообразие морфологии пористых и дисперсных наносистем, обобщенные модели и системный набор моделей.

Лекция 3. Элементы моделирования пористой структуры. Обсуждены характерные подходы к моделированию супрамолекулярной структуры нанопористых материалов: выделение первичных структурных модельных ячеек (ПЭ), исследования регулярных и статистических упаковок наночастиц с помощью многогранников и решеток (мозаик) Вороного-Делоне, подходы, основанные на решеточных моделях и теории перколяции, геометрии фракталов, модели хаотично расположенных сфер (ХРС) и статистическом анализе методами количественной микроскопии и стереологии.

Лекция 4. Экстенсивные и интенсивные параметры пористой структуры. Обсуждены «безмодельные» характеристики супрамолекулярной структуры - плотность и пористость, а также удельная поверхность и объем пор, средние размеры частиц и пор, основные соотношения между этими характеристиками, методы определения дисперсности.

Раздел II. Адсорбция на плоской поверхности

(12 час лекций + 4 час семинары + 4 часа контрольные работы)

Лекция 5. Основы адсорбции. Рассмотрены способы снижения избыточной поверхностной энергии. Обсуждены особенности физической и химической адсорбции, силы межмолекулярного взаи-

модействия при физадсорбции, прямые методы измерения поверхностных сил.

Лекция 6. Термодинамика адсорбционных взаимодействий на плоской поверхности. Рассмотрены особые термодинамические свойства поверхности раздела фаз, метод слоя конечной толщины, метод разделяющей поверхности и поверхностных избытков Гиббса, поверхностное натяжение, поверхностно - активные и инактивные компоненты, “положительная” и “отрицательная” адсорбция в жидких и твердых растворах. Обсуждено применение уравнения Гиббса для анализа адсорбции.

Лекция 7. Адсорбционные фазовые диаграммы (изотермы, изобары и изостеры адсорбции). Рассмотрен динамический характер адсорбции, обусловленный явлениями в объеме сопредельных фаз и на поверхности их раздела, миграция молекул по поверхности, изотермы мономолекулярной адсорбции Генри, Ленгмюра, Фаулера-Гугенгейма, и другие уравнения мономолекулярной локализованной адсорбции. Обсуждена полимолекулярная адсорбция, модели ФХХ (Френкеля-Хелси-Хилла) и БЭТ (Брунауэра-Эммета-Теллера), значения молекулярных посадочных площадок в заполненном “бэт-овском” монослое, расчет удельной поверхности методом БЭТ.

Лекция 8. Экспериментальные методы изучения адсорбции. Рассмотрено правило фаз Гиббса с учетом адсорбции на межфазовой поверхности, методы измерения и исследования адсорбции и структуры поверхности, включая объемный (волюметрический) и весовой (гравиметрический) метод измерения изотерм адсорбции газов и паров, проточные методы измерения равновесных величин адсорбции, особенности исследования адсорбции из растворов.

Лекция 9. Начальные участки изотерм адсорбции. Терминология и классификация пористых материалов, основанные на размере пор и особенностях происходящих адсорбционных процессов. Анализ применения метода БЭТ для расчетов удельной поверхности катализаторов и адсорбентов, известные способы усовершенствования модели БЭТ и поиск альтернативных решений. Сравнительный метод анализа изотерм адсорбции, основанный на использовании стандартных изотерм адсорбции (СИА), применение этого метода для определения объема микропор и поверхности мезопор, анализа

модифицированных систем. Основы теории объемного заполнения микропор (ТОЗМ) школы М.М. Дубинина.

Лекция 10. Парциальная поверхность многокомпонентных пористых материалов. Рассмотрены традиционные и новые адсорбционные методы определения парциальной поверхности и других параметров супрамолекулярной структуры многофазных катализаторов и композитов, дополнительные возможности адсорбционного анализа распределения компонентов в нанесенных катализаторах в нанометровом диапазоне их размеров.

Раздел III. Основы капиллярных явлений на искривленной поверхности

(6 час лекций + 4 час семинары + контрольная).

Лекция 11. Трехфазные пористые системы. Основы термодинамики поверхностных явлений в трехфазных системах, смачивание и растекание, когезия и адгезия, определение кривизны поверхности. Классические уравнения теории капиллярности: уравнение Лапласа-Юнга, Кельвина, Томсона, зависимость химического потенциала и температуры фазовых переходов от кривизны поверхности, равновесный профиль искривленной поверхности жидких фаз, равновесная форма и поверхностное натяжение твердых фаз, зависимость поверхностного натяжения от межмолекулярных взаимодействий, температуры и кривизны поверхности. В качестве примера применения термодинамики поверхностных явлений на искривленных границах рассмотрена ртутная порометрия в модели индивидуальных пор.

Лекция 12. Капиллярные явления. Обратимая и необратимая капиллярная конденсация в индивидуальных модельных порах простейшей формы, особенности капиллярной конденсации в системах взаимосвязанных пор. Методы расчета распределения мезопор по размерам на основе классических закономерностей термодинамики поверхностных явлений и новые численные методы.

Лекция 13. Современное состояние теории адсорбции и капиллярной конденсации. Рассмотрены подходы к моделированию адсорбции и капиллярной конденсации, основанные на статистической механике и численных методах с прямым учетом межмолеку-

лярных взаимодействий, методология адсорбционного численного эксперимента (АЧЭ), модели, используемые в современных АЧЭ, некоторые результаты использования таких методов.

Раздел IV. Механизмы формирования пористых материалов

(14 час + 4 час семинары + 4 час контрольная).

Лекция 14. Механизмы перераспределения жидкой фазы в пористом теле. Рассмотрены механизмы процессов, связанных с переносом и перераспределением жидкости в нанопористых системах (сначала – на простейших модельных и далее – постепенно усложняющихся системах), жидкофазные домены и перенос, определяемый уравнениями Лапласа-Юнга, Кельвина, равновесие и перенос в адсорбционной пленке (по Фольмеру и Дерягину), скорость установления равновесия, перенос и перераспределение жидкости в элементах лабиринта пор. В качестве примера рассмотрены стадия сушки в приготовлении нанесенных катализаторов, а также особенности получения нанесенных адсорбционных катализаторов и некоторые особенности катализаторов с жидкофазным нанесенным активным компонентом.

Лекция 15. Фундаментальные механизмы формирования высокодисперсных систем. Рассмотрены принципы образования высокодисперсных систем, общие механизмы и схемы фазовых превращений в гомогенных средах, особенности процессов осаждения из водных растворов, гетерогенное зародышеобразование, особенности роста кристаллических частиц и роль объемных изменений при твердофазовых (топохимических) превращениях.

Лекция 16. Механизмы агрегации высокодисперсных частиц и массообмена между ними. Рассмотрены общие факторы, определяющие стабилизацию и дестабилизацию (коагуляцию) золей наночастиц (силы притяжения и отталкивания, гидрофобное и гидрофильное взаимодействия и др.), механизмы массообмена между наночастицами (переконденсация и срастание, особенности срастания на стадии гидрогеля и ксерогеля), механизмы изменений текстуры при спекании, особенности спекания нанесенных катализаторов.

Лекция 17. Механизмы и стадии формирования текстуры систем, получаемых методами осаждения. На примере силикагелей, получаемых золь-гель методом, рассмотрены фундаментальные механизмы и стадии формирования наноструктуры некристаллизующихся наносистем, получаемых методом осаждения из водных растворов (стадии образования и коагуляции золя, старения гидрогеля, формирование текстуры силикагеля при сушке гидрогеля). Особенности формирования текстуры силикагелей, осаждаемых через коагели, а также из алкоксидов металлов. На фоне дизайна силикагелей как модельной системы, обычно не осложняемого фазовыми превращениями после нуклеации золя, рассмотрены отличительные особенности формирования систем, кристаллизующихся на стадиях после образования исходного осадка.

Лекция 18. Самоорганизующиеся пористые материалы. Проблема формирования порядка и хаоса в нанодисперсных и наноструктурированных системах, молекулярные механизмы самоорганизации порядка, принципы супрамолекулярной химии. В качестве примеров рассмотрено формирование синтетических цеолитов и цеолитоподобных материалов, жидких кристаллов, интелекалированных и пилларированных слоистых материалов. Рассмотрены свойства мицеллярных систем из ПАВ, их типовые трансформации, взаимодействие с компонентами окружающей среды, биоминерализация в живой природе, принципы биомиметического синтеза композиционных и неорганические мезопористых мезофазных материалов (МММ), особенности формирования и супрамолекулярная структура силикатных и элемент-силикатных систем типа MCM-41 и SBA-15, а также MOF (металлорганических решеток) и композитов на их основе.

Лекция 19. Пористые углеродные материалы. Особенности структуры твердых фаз углерода. Основные традиционные и новые способы получения пористых углеродных наносистем из различных твердых, жидких или газообразных углеродсодержащих предшественников, механизмы развития структуры при введении или удалении углеродсодержащих и других компонентов. Особое внимание уделено пироуглероду и сибунитам, каталитическому волокнистому углероду, фуллерену, углеродным одностеночным нанотрубкам и их производным.

Лекция 20. Прикладные задачи адсорбции. Рассмотрено применение адсорбции для задач очистки, разделения, выделения и хранения компонентов различных газовых и жидких сред, в тепловых, газовых и электрических аккумуляторах и демпферах; определены основные понятия и механизмы кинетики и динамики адсорбции в изотермических и неізотермических условиях, влияние формы изотермы адсорбции, особенности разделения газов методами цикловой адсорбции и хроматографии.

Формы организации учебного процесса: лекции, лабораторная работа, семинары, коллоквиумы, домашняя и самостоятельная работа студента, консультации, экзамен.

5. Образовательные технологии

Виды/формы образовательных технологий. Отличительной особенностью курса является применение в нем модульно-рейтинговой системы (см. аннотацию), при реализации которой постоянно контролируется уровень знаний студента. Наличие обязательных для итоговой аттестации студента контрольных точек принуждает к активной работе студента в течение всего семестра. Семинарские занятия происходят в форме дискуссии преподавателя со студентами (аналог «круглого стола», преподавателю в котором отводится роль ведущего), в ходе которых каждый из участников – студенты или преподаватель имеют право задавать вопросы и участвовать в выработке альтернативных решений разбираемых проблем. Таким образом, на всех семинарских занятиях реализуется интерактивная форма обучения. Для того чтобы заинтересовать студента в работе на семинарских занятиях, на каждом семинарском занятии студент должен у доски, самостоятельно, или используя обсуждение с остальными, решить предлагаемую задачу. Такие мини-выступления могут существенным образом повлиять на итоговую оценку студента. Обратная связь обеспечивается тем, что лектор присутствует на семинарах, и может оперативно скорректировать лекционный курс в зависимости от полученных на семинарском занятии и при прохождении контрольных точек результатов в усвоении материала.

Важной формой обучения являются коллоквиумы. Два коллоквиума отведены для проведения студентами индивидуальных устных презентаций о роли адсорбции и пористой структуры в теме дипломной работы студента. Подготовка презентаций имеет характер домашнего задания, которое выдаётся студентам в начале курса. Для этого студенты сообщают преподавателям темы их дипломных работ, в соответствии с которыми коллегиально определяются темы устных презентаций. По мере выполнения задания студенты определяют литературные и другие источники, на основе которых будет построена презентация. Доклад презентаций на коллоквиумах проходит в режиме семинара (конференции), на которых группой и преподавателями заслушиваются доклады (презентации) и задаются вопросы по теме презентаций. Ещё два коллоквиума отведены для сдачи лабораторных работ по адсорбции. Эти коллоквиумы проходят в форме беседы преподавателя со студентом, в которую при желании может вмешиваться любой студент семинарской группы. Здесь (а не только на семинарских занятиях) студент может получить ответы на все интересующие его вопросы по предмету.

Лабораторные работы включают экспериментальные исследования адсорбции выбранных студентами веществ в субкритических условиях для определения текстурных характеристик образцов пористых адсорбентов и выполняются в Лаборатории исследования текстуры катализаторов Института катализа СО РАН, оснащенной современным лабораторным оборудованием. В обязательном порядке студент не только измеряет величины адсорбции выбранных адсорбатов, но и, как правило, самостоятельно производит расчет текстурных характеристик и оформляет отчет. В ходе обсуждения с преподавателем выполненной экспериментальной работы студент должен с использованием имеющихся у него сведений, аргументировано подтвердить достоверность полученных количественных характеристик, а также привести погрешности полученных значений, объяснить их возможное происхождение с использованием теоретических представлений о природе адсорбционных явлений. В ходе лабораторных работ студенты зачастую выполняют экспериментальные исследования образцов, приготовленных самостоятельно в ходе институтского практикума. Во время выполнения лабораторных работ студенты работают на современном автоматическом адсорбционном приборе, оборудованном турбомолекулярным

насосом и прецизионным датчиком абсолютного давления, управляемым микропроцессором и сопряженным с персональным компьютером. При выполнении расчетов текстурных характеристик студент использует оригинальные англоязычные статьи, таким образом обучаясь систематичной работе с научной литературой. По результатам выполненных лабораторных работ студент представляет печатный отчет, выполненный в соответствии с требованиями нормативной документации, действующей на территории РФ. В связи с этим, лабораторная работа представляет собой небольшой законченный отчет о НИР.

Следует отметить, что все преподаватели, участвующие в курсе «Адсорбция и пористая структура» являются профессиональными исследователями в области исследования адсорбции и текстуры. В связи с этим, в теоретическом (лекционном) курсе зачастую используются научные результаты, полученные самим лектором, либо его коллегами по ИК СО РАН.

Преподаватели, участвующие в проведении курса, регулярно готовят и издают учебно-методические пособия, посвященные различным разделам курса. Эти пособия размещаются и в электронном виде на сайте Факультета естественных наук. Там же можно найти мультимедийную презентацию лекционного курса.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.

6.1. Рекомендованная литература к теоретическому курсу

1. Фенелонов В.Б., «Введение в физическую химию формирования супрамолекулярной структуры адсорбентов и катализаторов», изд СО РАН, Новосибирск, 2002 и 2004 (расширенное издание).
2. Карнаухов А.П. «Адсорбция. Текстура дисперсных и пористых материалов», Наука, Новосибирск, 1999.

3. В.А.Дзисько, «Основы методов приготовления катализаторов», Новосибирск, Наука, 1983 г.
4. Боресков Г.К., Гетерогенный катализ, Новосибирск, Наука, 1986.
5. Грег Г., Синг К., Адсорбция, удельная поверхность, пористость, М., Мир, 1984.
6. Адамсон А. Физическая химия поверхностей, М., Мир, 1979.
7. Щукин Е.Д., Перцов А.В., Амелина Е.А., Коллоидная химия, М. Высшая школа, 1992.
8. Handbook of Heterogeneous Catalysis, V. 1, Weinheim, Wiley-VCH Verlag, 2008.
9. Лен Ж.-М. «Супрамолекулярная химия», Новосибирск, Наука, 1998 г;
10. Jolivet J.-P. Metal Oxide Chemistry and Synthesis, Chichester, Wiley&Sons, 2000.
11. Allen T., Particle Size Measurement, London, Chapt Hill, 1981.
12. Somorjai G.A., Introduction to Surface Chemistry and Catalysis, N.Y. Wiley&Sons, 1994.
13. Allen M.P., Tildesley D.J., Computer Simulation of Liquids, Oxford, Oxford Univ. Press, 1986.
14. Роулинсон Дж., Уидом Б., Молекулярная теория капиллярности, М., Мир, 1986.
15. Джейкок М., Парфит Дж., Химия поверхности раздела фаз, М., Мир, 1984.
16. Де Бур Я., Динамический характер адсорбции, М., ИЛ, 1962.

6.2. Правила ИКИ

При прохождении курса «Адсорбция и пористая структура» студенты работают по системе ИКИ (индивидуальный кумулятивный индекс). Эта система предусматривает прохождение контрольных

ных точек (коллоквиумов, контрольных работ и домашнее задание), набранные баллы суммируются, и составлена таким образом, что текущий контроль охватывает все разделы курса. Поэтому итоговая аттестация не предусматривает обязательного итогового экзамена – любую положительную итоговую оценку за семестр и за курс в целом можно получить «автоматом», набрав соответствующее количество баллов в семестре. Студент, не набравший достаточного количества баллов для получения «оценки–автомата» или желающий ее повысить, сдает устные экзамены, которые проводятся во время экзаменационных сессий.

Все контрольные точки являются обязательными. Их прохождение – необходимое условие для «оценки–автомата» и (или) допуска на экзамен.

Каждая обязательная контрольная точка проходит строго в установленный срок, который указан в Программе курса. При прохождении контрольной точки за пределами установленного срока (без уважительной причины) она принимается со «штрафом», т. е. вводится коэффициент 0.5 на каждый набранный сверх 50 % балл.

Студент имеет право на апелляцию по каждой контрольной работе в течение 7 дней со дня ее проведения (при условии, что работа находится у преподавателей). Все вопросы, связанные с изменением суммы баллов, решаются преподавателем, проверявшим задачу, а в спорных случаях – лектором. По истечению срока апелляции по данной контрольной точке баллы за нее не могут быть изменены.

Контрольные точки, не пройденные в срок по уважительной причине (при наличии медицинской справки), принимаются в течение недели после окончания действия справки без штрафа, а далее (в течение одной следующей недели) – со штрафом (см. выше). Все контрольные точки, не пройденные в срок (без уважительной причины), в виде исключения могут быть сданы в течение двух недель за пределами установленного срока (со штрафом).

Работа студента на семинарах оценивается преподавателем, ведущим семинары, по теме текущего семинара, поэтому студенту следует заранее прорабатывать материал к семинару. Студент может получить баллы за быстрое и правильное решение задач на семинаре (по усмотрению преподавателя). Суммарное количество баллов за этот пункт выставляется преподавателем в конце семестра.

Итоговая оценка за курс складывается из суммы баллов, набранных в семестре и на экзамене. Максимальная сумма баллов в семестре составляет 1200 баллов. Устный экзамен оценивается в 600, 800 или 1000 баллов в зависимости от оценки: «удовлетворительно», «хорошо» или «отлично» по пятибалльной шкале. Таким образом, максимально возможная сумма составляет 2200 баллов.

Для получения оценки без сдачи экзамена («автомат»), студенту необходимо набрать до начала сессии не менее **720** баллов (60 % из 1200 баллов).

Студентам, набравшим в семестре не менее **960** баллов ($\geq 80\%$) выставляется оценка «**отлично**», и к набранной сумме баллов прибавляется 1000 баллов; **840 – 959** баллов ($\geq 70\%$) может быть выставлена оценка «**хорошо**» с прибавлением к набранной сумме 800 баллов; **720 – 839** ($\geq 60\%$) баллов; может быть выставлена оценка «**удовлетворительно**» с прибавлением 600 баллов к набранной сумме.

Если сумма набранных баллов менее 600, студент должен сдавать экзамен.

Студенты, получившие «автоматом» «хорошо» и «удовлетворительно», имеют право повысить эти оценки на устном экзамене.

Если студент сдает устный экзамен, то баллы за экзамен суммируются с баллами ИКИ и в зачетку выставляется итоговая оценка за семестр*:

- – «**отлично**» (**1760** баллов и более, т.е. $\geq 80\%$),
- – «**хорошо**» (**1540 – 1759** баллов, т.е. $\geq 70\%$),
- – «**удовлетворительно**» (**1210 – 1539** баллов, т.е. $\geq 55\%$),
- – «**неудовлетворительно**» (менее **1210** баллов, т.е. $< 55\%$).

Студент, набравший до начала экзаменационной сессии по системе ИКИ менее 400 баллов, **к сдаче экзамена не допускается**. Допуском на экзамен в этом случае служит дополнительная контрольная работа, составленная по материалам всего семестра, на которой студент должен набрать не менее 60 % баллов. Эта контрольная работа пишется один раз (обычно в начале зимней сессии). Если студент набирает 60 % баллов, он может сдавать экзамен, если

*Поскольку итоговая оценка складывается из суммы баллов, набранных в семестре и на экзамене, то в случае плохой подготовки к сдаче экзамена студент может и понизить свою оценку при попытке ее повысить!

сумма окажется менее 60 % баллов, то ему выставляется за экзамен оценка «неудовлетворительно». Во время передачи экзамена правила ИКИ не действуют и оценка выше «удовлетворительно» не выставляется.

6.3. Контрольные точки	Баллы
КР1 (Контрольная работа 1): Пористая структура.	100
КР2 (Контрольная работа 2): Адсорбция.	100
КР3 (Контрольная работа 3): Капиллярные явления.	100
КР4 (Контрольная работа 4): Формирование текстуры.	100
К1 (Коллоквиум 1): Индивидуальные устные презентации студентов о роли адсорбции и пористой структуры в теме их дипломной работы (домашнее задание).	200
К2 (Коллоквиум 2): Лабораторные работы	200
Посещение лекций (20 занятий)	200 (20x10)
Работа на семинарах	200 (4x50)
ИТОГО	1200

6.4. Домашнее задание

Домашнее задание (презентация) принимается только в отведённые дни проведения коллоквиума в присутствии студентов и преподавателей курса. Для этого предусмотрено два двухчасовых занятия, разнесённых по времени на 1 неделю. Форма представления результатов выполнения домашнего задания – индивидуальная

устная презентация. Тема презентации определяется в начале семестра. Для этого студенты сообщают преподавателям темы их дипломных работ, в соответствии с которыми коллегиально формулируются темы устных презентаций. Любая презентация должна учитывать роль адсорбции и пористой структуры в теме дипломной работы студента. По мере выполнения задания студенты определяют литературные и другие источники, на основе которых будет построена презентация. Доклад презентаций на коллоквиумах проходит в режиме семинара (конференции), на которых группой и преподавателями заслушиваются доклады (презентации) и задаются вопросы по теме презентаций.

Подготовка презентации оценивается в 100 баллов, качество презентации (читаемость шрифтов и подписей, цветовая палитра, использование анимации в необходимых местах, адекватность и полнота представления информации, соответствие изложенного теме домашнего задания) оцениваются максимально в 50 баллов, полнота ответов на вопросы – в 50 баллов. Дополнительно студенты могут получить бонусные баллы (5 баллов за оригинальный вопрос), задавая оригинальные (неповторяющееся по ходу коллоквиума) вопросы по научной части презентации.

Успешное выполнение домашнего задания является необходимым условием получения студентом оценки «автоматом» и допуска к экзамену.

6.5. Лабораторные работы по адсорбции

Лабораторные работы по адсорбции и определению текстурных характеристик пористых материалов имеют цель научить студентов основным приемам работы, принятым в настоящее время в лабораториях при измерении текстурных характеристик адсорбционными методами (тренировка перед измерением, подготовка изотермической бани, планирование программы измерения и т.п.), а также привить навыки выполнения типовых расчетов текстурных характеристик. Кроме того, студенты на практике получают представление о современных методах расчета на основе статистической механики и подготовке отчета о НИР в соответствии с нормативной документацией.

Успешное выполнение лабораторной работы является необходимым условием получения оценки «автоматом» и допуска к экза-

мену (не менее **100** баллов из 200). **При оценке работы преподаватель учитывает:**

1. Знание студентом физико-химической сути выполняемой работы. Студент приводит в отчете график изотермы адсорбции и его описание, включающее тип по классификации ИЮПАК; тип петли гистерезиса при его наличии; обоснование причисления к указанному типу; указания на физические явления, проявляющиеся в наблюдаемой изотерме; предположения о пористой структуре изучаемого адсорбента. При полном раскрытии физико-химической сути наблюдаемой адсорбции студенту начисляется 50 баллов. При отсутствии графика изотермы и её описания эта часть работы не засчитывается.
2. Полнота рассчитанных и представленных в работе текстурных характеристик. Студент выполняет расчет всех требуемых текстурных характеристик и представляет графики всех требуемых распределений объема и площади пор по размерам. При полном представлении характеристик студенту начисляется 50 баллов. При неполном представлении характеристик эта часть работы не засчитывается.
3. Качество полученных результатов. Все расчеты текстурных характеристик должны быть выполнены правильно: должны быть обоснованно выбраны диапазоны парциального давления на изотерме, внутри которых рассчитываются текстурные характеристики, использованы правильные формулы для расчета, а сами расчеты выполнены с двойной точностью (использование типа `double` при программировании расчетов). Все расчеты студента проверяются преподавателем по тому же файлу данных, что дан студенту. Результаты расчетов преподавателем и студентом могут отличаться не более, чем на 2% отн. при расчете распределения пор по размерам, не более, чем на 0,1% отн. при расчете удельной поверхности БЭТ, удельного объема пор по правилу Гурвича и среднего размера пор, и не более, чем на 1% отн. при остальных расчетах. При отличном качестве полученных результатов студенту начисляется 50 баллов. При получении студентом неточных результатов баллы за эту часть работы не начисляются, а общий балл за лабораторную работу сни-

жается пропорционально доле неточно рассчитанных характеристик в их общем перечне.

4. Качество оформления работы. Работа должна быть оформлена в соответствии с ГОСТ 7.32-2001 «Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления». Титульный лист и перечень разделов работы предоставляются преподавателем. Библиографические ссылки оформляются по ГОСТ 7.0.5-2008 «Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления», расположение — затекстовое. Пример библиографической ссылки предоставляется преподавателем. Кроме того, пример правильно оформленной лабораторной работы приведён в приложении А к данному учебно-методическому комплексу. При отличном оформлении работы студенту начисляется 50 баллов. При несоблюдении требований указанных стандартов эта часть работы не засчитывается.
5. Оригинальность текста. При обнаружении в оформленной работе плагиата (неоформленного или неправильно оформленного заимствования – указан другой автор, другое произведение или издание) работа не засчитывается. Случаем плагиата считается хотя бы одно дословное неоформленное или оформленное неправильно заимствование у другого автора более **20** слов подряд или более **100** знаков подряд, а также очевидный парафраз той же протяженности (перестановка слов, очевидные синонимы, вставленные опечатки). Данное требование не распространяется на титульный лист, заголовки, библиографию, подписи к рисункам и таблицам.
6. Культура выполнения работы и соблюдение ТБ. В случае допущения грубых нарушений ТБ работа не засчитывается. Грубое нарушение ТБ при выполнении рабочих операций после объяснения преподавателем приводит начислению до 25 штрафных баллов.
7. Соблюдение сроков сдачи оформленного отчета. Оформленный отчет о лабораторной работе должен быть представлен не позднее 14 календарных дней после ее выполнения

или до начала очередной экзаменационной сессии, смотря что наступит раньше. Работа, не представленная в виде отчета в указанные сроки, считается невыполненной (0 баллов). После первого представления преподавателю оформленного отчета в электронном виде студент имеет право внести исправления по замечаниям, сделанным преподавателем, без снятия баллов и представить исправленный отчет в срок до 7 календарных дней, но не позднее 14 календарных дней после выполнения работы или начала очередной экзаменационной сессии, смотря что наступит раньше. В случае отсутствия или неполного исправления в указанные сроки выявленных недостатков представленный последний вариант отчета оценивается по перечисленным выше критериям. Если после проведения повторной проверки работы полученная студентом оценка за работу всё-таки окажется ниже 100 баллов, преподаватель вносит по тексту замечания для исправления работы. Студент имеет право доработать такую работу до конца рабочего времени (18:00) в день сдачи. Если после такой повторной доработки работа студента получает любую оценку выше 100 баллов, отчет принимается со «штрафом», т.е. вводится коэффициент 0,5 на каждый балл, набранный сверх 100 баллов. Студент, первым из подгруппы (группа студентов выполнявших лабораторную работу в один день) сдавшие оформленный отчет о проделанной работе преподавателю и получивший больше 160 баллов, получает в качестве поощрения общую оценку 200 баллов за лабораторную работу.

Если суммарная оценка за лабораторную работу составит менее **100** баллов, то такая работа считается невыполненной (оценка **0** баллов).

В начале занятия студенты знакомятся с основами техники безопасности и правилами работы в лаборатории физических измерений. Необходимо знать, как безопасно обращаться со сжатыми и сжиженными газами, криогенными жидкостями и исследуемыми образцами. Особое внимание следует уделить правилам безопасной работы с горючими и легковоспламеняющимися жидкостями (ЛВЖ), мерам первой медицинской помощи при термических ожогах и обморожении. Следует знать все о наличии в лаборатории

противопожарных средств и о способах их применения. Студентам напоминают о мерах предупреждения несчастных случаев, порядке действия в критических ситуациях, о приемах оказания первой помощи при порезах и при отравлениях органическими и неорганическими веществами, указывают на наличные в лаборатории средства оказания первой помощи. Далее происходит знакомство с типами приборов, на которых будет выполняться работа. Рассматриваются принципы правильной эксплуатации, объясняются меры безопасности при работе с пониженным давлением. Каждый студент обязан иметь допуск к работе к Институтскому практикуму в лабораториях Института катализа СО РАН в соответствии с действующим распорядком. *Без допуска к Институтскому практикуму студент к работе в лаборатории не допускается!* Грубое нарушение правил техники безопасности влечет за собой проведение внеочередного инструктажа в лаборатории руководителя Институтского практикума или даже отстранение от лабораторной работы с последующей неаттестацией по курсу вообще.

Кроме того, в начале занятия преподаватель напоминает студентам об основных навыках работы со справочной литературой.

Литература: Руководство по эксплуатации Autosorb-6B-Kr [англ.], Quantachrome Instruments, FL, 2002.

В ходе лабораторной работы каждый студент должен выполнить 1 учебное экспериментальное измерение адсорбции выбранного газа на 1 образце, представленного преподавателем или руководителем институтской практики студента. Виды работ, которые студенту необходимо выполнить, указывает преподаватель. Работу студент проводит самостоятельно и собственноручно. Это касается взятия навески образца в представленную преподавателем измерительную ампулу, установку ампулы в прибор для тренировки образца перед измерением, перемещение ампулы с подготовленным образцом в прибор для измерения, подготовка изотермической бани для задания температуры адсорбции, задания программы измерения на персональном компьютере, расчета текстурных характеристик, подготовки отчета. Допускается коллективное выполнение отдельных стадий работы по указанию преподавателя. Все принципиальные вопросы, возникающие по ходу работы, решаются непосредственно с преподавателем.

Перед выполнением лабораторной работы следует ознакомиться с теоретическим разделом курса «Адсорбция и пористая структура», который имеет непосредственное отношение к проводимой работе. Во-первых, это необходимо для того, чтобы иметь точные представления относительно механизма наблюдаемой адсорбции и общих закономерностей изучаемого процесса. Во-вторых, при сдаче работы преподавателю студенту будут заданы контрольные вопросы, касающиеся различных аспектов проводимого исследования, выбора оптимальных экспериментальных точек и т. п.

Далее следует внимательно ознакомиться с предложенной методикой измерения. В частности, необходимо уяснить, адсорбцию какого газа и в каких условиях проводят, уточнить диапазон навески, оценить, какую величину составит поверхность образца в измерительной ампуле, соответствует ли полученное значение рабочему диапазону прибора. Лучше считать, что в предлагаемых величинах навески в общепринятых методиках могут быть неточности, которые сделают испытание образца невозможным, и такие неточности необходимо выявить. В случае, если предполагаемая навеска меньше массы одной гранулы образца или незначительно превышает эту массу, необходимо выяснить у преподавателя необходимость приготовления фракции из нескольких гранул для получения представительных значений текстурных характеристик. Необходимо собрать всю доступную информацию об опасностях, которые представляет испытуемый образец, и правилах безопасной работы с ним. До начала работы студент дополнительно должен знать, на каком приборе и с помощью какого вспомогательного оборудования будет производиться лабораторная работа, где данное оборудование находится и каковы его особенности и характеристики, важные для выполнения измерения.

Выполнению лабораторной работы предшествует вводный инструктаж преподавателя о методике измерения и расчетов, возможных источниках ошибок, мерах предосторожности при выполнении работы. Приступать к работе можно только после устного разрешения преподавателя.

План прохождения лабораторных работ

Студентам предлагается на выбор один из вариантов выполнения лабораторной работы.

Содержание занятий	Количество выполняемых работ	Количество часов
Правила работы и ТБ при выполнении лабораторной работы, знакомство со справочной литературой		1
Низкотемпературная азотная порометрия	1	9
Адсорбция диоксида углерода при 273 К	1	8

Разделы теоретического курса, которые студенты должны знать для выполнения лабораторной работы.

Низкотемпературная азотная порометрия

Изотерма адсорбции. Адсорбционные силы. Полислои. Специфическая и неспецифическая адсорбция. Классификация пор по размерам: микро-, мезо- и макропоры. Применение адсорбционных методов. Физическая адсорбция газов непористыми твердыми телами. Изотермы II типа. Модель БЭТ. Критика модели БЭТ. Стандарт ISO 9277:2010. Стандартные изотермы адсорбции. Анализ изотерм адсорбции: t -графики, α_s -графики. Физическая адсорбция газов мезопористыми твердыми телами. Изотермы адсорбции IV типа. Капиллярная конденсация и уравнение Кельвина. Капиллярно-конденсационный гистерезис. Использование уравнения Кельвина для вычисления распределения пор по размерам: метод Баррета-Джойнера-Халенды. Интервал применимости уравнения Кельвина. Механизмы адсорбции в мезопорах. Образование метастабильного флюида. Перколяционные эффекты и кавитация при десорбции, их влияние на изотерму адсорбции.

Литература: [1], стр. 14–25, 36–37, 47–49, 52–83, 102–110, 121–207.

Название лабораторной работы	Литература	Операции
Определение текстурных характеристик пористого образца методом низкотемпературной азотной порометрии	[1]	Подготовка образца в вакууме с нагревом. Низкотемпературная адсорбция

Адсорбция диоксида углерода при 273 К

Физическая адсорбция газов микропористыми твердыми телами. Изотермы адсорбции I типа. Силовое поле в очень тонких порах. Оценка микропористости. Основы теории адсорбции в микропорах. Адсорбционный потенциал Поляни. Теория объемного заполнения микропор. Уравнение Дубинина-Радушкевича-Каганера. Уравнение Дубинина-Астахова. Сужения в микропорах. Методы статистической механики в исследованиях микропор. Выбор адсорбтива для тестирования микропористых материалов.

Литература: [1], стр. 208–257; [2], стр. 219–233.

Название синтеза	Литература	Операции
Определение текстурных характеристик микропористого образца методом адсорбции CO ₂ при 273 К	[1-2]	Подготовка образца в вакууме с нагревом. Адсорбция в субкритических условиях

Литература к лабораторным работам

1. Грег С., Синг К. Адсорбция, удельная поверхность, пористь: Пер. с англ. 2-е изд.—М.:Мир, 1984.—306 с.
2. Rouquerol F., Rouquerol J., Sing K., Adsorption by Powders and Porous Solids. Principles, Methodology and Applications.— London-San Diego, Academic Press, 1999.—467 p.

Оформление отчета о лабораторной работе

Важной, завершающей частью выполнения лабораторной работы является её оформление и представление в общепринятой форме.

Отчет по лабораторной работе должен состоять из следующих частей:

- 1) *Титульный лист*, на котором указывается организация, в которой выполнялась работа, название и автор работы. Место и год выполнения работы;
- 2) *Краткий реферат*, содержащий библиографические данные, цель и резюме по результатам работы;
- 3) *Содержание* (оглавление);
- 4) *Введение*, в котором излагается мотивация работы, и сообщаются сведения об используемых методах измерения. Введение должно завершаться остановкой цели проводимой работы;

5) *Литературный обзор*. В этой части приводятся и обсуждаются литературные данные по теме работы и по методам расчета. При подборе литературы можно использовать учебники, монографии или обзорные статьи, где имеются ссылки на литературу. Литературный обзор не должен быть формальной сводкой литературы. Необходимо критически проанализировать литературные данные и на этой основе сформулировать выводы, отражающие сравнительную оценку рассматриваемых методов определения текстурных характеристик.

Литературный материал необходимо иллюстрировать формулами, рисунками и схемами. В том случае, если необходимо назвать химическое соединение следует пользоваться номенклатурой ИЮПАК. Для уточнения названия можно обратиться к справочному изданию «Номенклатурные правила ИЮПАК по химии», т. 2, полутома 1 и 2 (М.: ВИНТИ, 1979), или использовать компьютерные программы, например ISIS Draw, ChemSketch, пакет ChemOffice.

В отчетах следует применять сквозную нумерацию библиографических ссылок по всей работе – от первой до последней. При повторном цитировании какой-либо работы сохраняется тот номер ссылки, каким она была обозначена при первом упоминании. Ссылки на литературу в тексте следует давать в квадратных скобках, например, [2]. Если по какой-либо причине удалось ознакомиться с работой лишь по реферату или библиографической ссылке в обзоре, то ссылка должна обязательно указывать последовательно как на оригинальную статью, так и на реферативный журнал или обзор;

б) *Экспериментальная часть* должна начинаться с указания на использованные приборы, характеристики используемых материалов (квалификации, ссылка на ГОСТ или ТУ, производитель, мето-

ды дополнительной очистки, и данные, характеризующие конечную чистоту используемых материалов, например, физические константы, спектральные характеристики, объемное или массовое содержание основного вещества и примесей и др.) и исследуемого образца (наименование и шифр образца, производитель, артикул, товарная партия (лот) и иные сведения для идентификации образца, сведения о свойствах образца: физические константы, спектральные характеристики, объемное или массовое содержание основного вещества и примесей и др.). Затем описываются работа, выполненная студентом.

При указании количеств веществ, физических констант, содержания в % и т.п. десятичные знаки отделяют запятой. При оформлении работы единицу измерения длины ангстрем (Å) применять не следует, при необходимости указания размеров микроскопических и нанометровых объектов используется микрометр (1 мкм = 10^{-6} м) и нанометр (1 нм = 10^{-9} м). Никаких сокращений слов, кроме стандартных, применять не следует без крайней необходимости. Если такая необходимость все же возникла, при первом упоминании аббревиатуры следует в скобках дать ее расшифровку. Надлежит придерживаться следующих сокращений:

- килограмм – кг;
- грамм – г;
- сантиметр – см;
- квадратный метр на грамм – $\text{м}^2/\text{г}$;
- кубический сантиметр на грамм – $\text{см}^3/\text{г}$;
- паскаль – Па;
- миллиметр ртутного столба – мм рт.ст.;
- нанометр – нм;
- микрометр – мкм;
- градусы Цельсия – $^{\circ}\text{C}$;
- Кельвин – К;
- часы – ч;
- минуты – мин;
- секунды – с;
- нелокальная теория функционала плотности – NLDFT;
- расчет большого канонического распределения методом Монте-Карло – GCMC;
- метод Баррета-Джойнера-Халенды – метод ВЖН;

- диоксид углерода – CO_2 ;
- азот – N_2 .

Описание хода лабораторной работы должно быть подробным с тем, чтобы в наибольшей степени обеспечить воспроизводимость опыта любым независимым экспериментатором. Указание величины навески в граммах с точностью до 4 знака после запятой до проведения измерения и после проведения адсорбции обязательно. Необходимо указать условия подготовки образца: температуру, скорость её программирования, время выдержки на каждой ступени подготовки, рабочий газ при переносе образца в измерительный прибор, режим подготовки: поток газа или вакуумирование, при вакуумировании — конечное остаточное давление, при проточной дегазации — скорость потока и способ ее измерения, измеренную скорость натекания газа над образцом. Условия измерения должны описаны так, чтобы обеспечить возможность воспроизведения этих условий на приборах другого производителя. Должны быть приведены следующие сведения: способ измерения свободного объема, рабочий газ при измерении свободного объема (при наличии), время удаления откачкой этого рабочего газа, время стабилизации температуры при контакте с изотермической баней (измерить если напрямую не задается программой управления), количество точек изотермы и заданные величины давления адсорбтива в каждой точке, способ измерения давления насыщенных паров адсорбтива, заданные пределы и продолжительность стабилизации давления адсорбтива в каждой точке.

Далее кратко указываются использованные методы расчета текстурных характеристик. Рассчитываются и приводятся диапазоны давления, использованные в каждом методе, даются ссылки на использованные уравнения, если они были даны ранее, или приводятся формулы для вычислений. При использовании нормативных документов, международных и стандартов библиографическая ссылка на них обязательна. Подробное описание расчетов приводится или в Литературном обзоре или в Общей части (см. ниже).

Если несколько расчетов выполнено по общей схеме или уравнениям, то можно подробно описать только один расчет, а в дальнейшем ссылаться на него. Например: «Аналогично расчету по методу t -графика по уравнению де Бура расчет по уравнению Хелси даёт значение удельной поверхности мезопор...» При такого рода

сокращенных описаниях обязательно надо сохранить данные об использованных численных значениях, даже если они совпадают с указанными в типовом расчете.

При описании эксперимента необходимо следить за тем, чтобы не допускать вульгаризмов, просторечных и разговорных выражений. Так, не следует писать «сырой газ» (правильно «неочищенный газ») и т.п. Неопределенные выражения типа «нагревали в манжете» или «охлаждали в жидком азоте» без указания температуры или давления насыщенных паров лишены смысла, так как не позволяют воспроизвести эксперимент.

7) *Общая часть* посвящается описанию и обсуждению полученных результатов. Рекомендуется придерживаться одного из двух шаблонов: общее описание результатов и их обсуждения (общий раздел: *Результаты и их обсуждение*) или раздельное описание результатов и общего обсуждения (два раздела: *Результаты*, *Обсуждение результатов*). В то же время студенту дается право без ущерба для полноты и строгости изложения построить общую часть в соответствии с собственным видением специфики работы и наиболее оптимального варианта подачи материала. При любом построении общей части представляется целесообразным придерживаться следующих основных принципов построения этого раздела. В первую очередь, на основе содержащихся в заключительной части литературного обзора результатов критического анализа описанных в литературе методов расчета текстурных характеристик обосновывается выбор метода, использованных в работе. Далее последовательно приводятся все существенные сведения о выполненных расчетах. Раздел завершается обсуждением полученных результатов в сопоставлении с литературными данными.

8) *Выводы*. В выводах в сжатой форме формулируются основные результаты проделанной работы, приводится сводная таблица, рассчитанных текстурных характеристик.

9) *Библиография*. Список литературы, использованной при выполнении лабораторной работы, приводится в конце отчета, после выводов и оформляется следующим образом согласно ГОСТ 7.0.5-2008.

Во всех случаях название журнала и имена авторов необходимо приводить на языке оригинала. Вместо иероглифических шрифтов можно использовать язык цитируемого реферативного журнала. В

списке литературы надлежит придерживаться следующих условных сокращений названий журналов и справочников (подробно см. РЖХим и Chem. Abstr.).

Объем работы рекомендуется ограничивать 15-20 страницами машинописного текста. Работа должна быть оформлена с использованием персонального компьютера в текстовом редакторе Microsoft Word, набором структурных химических формул в одном из графических редакторов – ISIS Draw, ChemDraw, ChemSketch и др, математических формул как объектов Microsoft Equation 3.0, графиков в одном из графических редакторов или расчетных программ – Microsoft Excel, OriginLab Origin, Gnuplot (терминал png), Mathworks Matlab (выходной файл в формате tiff) и др.

6.7. Примеры вариантов контрольных работ

KPI

1. Оценить размер наночастиц силикагеля с удельной поверхностью $450 \text{ м}^2/\text{г}$ и истинной плотностью $2,2 \text{ г}/\text{см}^3$. (максимально 10 баллов).
2. Рассчитать пористость оксида алюминия, если известно, что объём пор в этом материале равен $0,4 \text{ см}^3/\text{г}$, а его истинная плотность равна $3,5 \text{ г}/\text{см}^3$. (10 баллов).
3. Каковы будут удельная поверхность и пористость механической смеси силикагеля (удельная поверхность $400 \text{ м}^2/\text{г}$, объём пор $0,9 \text{ см}^3/\text{г}$, истинная плотность равна $2,2 \text{ г}/\text{см}^3$) и оксида алюминия (удельная поверхность $200 \text{ м}^2/\text{г}$, объём пор $0,4 \text{ см}^3/\text{г}$, истинная плотность равна $3,5 \text{ г}/\text{см}^3$), взятых в массовой пропорции 1:3. (25 баллов).
4. Вывести зависимость пористости материала, состоящего из сферических частиц, упакованных в простую кубическую упаковку, от их среднего размера. (25 баллов).
5. Удельная поверхность носителя равна $300 \text{ м}^2/\text{г}$ носителя. После введения активного компонента в количестве $0,2 \text{ г}$ компонента / г носителя удельная поверхность снизилась до $240 \text{ м}^2/\text{г}$ катализатора. Предложить вариант наиболее веро-

ятной локализации активного компонента в пористом пространстве носителя. (30 баллов).

КР2

1. Оценить среднее время жизни молекулы водорода в адсорбированном состоянии при 298 К, если теплота адсорбции равна: а) 15 кДж/моль, б) 150 кДж/моль. (максимально 10 баллов).
2. По заданным точкам изотермы адсорбции азота при 77К на катализаторе рассчитать его удельную поверхность методом БЭТ. Величины адсорбции выражены в $\text{см}^3/\text{г}$ при стандартных температуре и давлении. (20 баллов)

P/P_0	Адс.	P/P_0	Адс.	P/P_0	Адс.
0,005	2,21	0,075	3,02	0,25	4,02
0,01	2,25	0,10	3,20	0,30	4,32
0,03	2,61	0,15	3,47	0,40	4,90
0,05	2,81	0,20	3,74	0,50	5,51

3. Используя допущения модели Лэнгмюра, вывести уравнение изотермы обратимой хемосорбции, сопровождающейся диссоциацией адсорбтива A_2 на два адсорбированных фрагмента А, каждый из которых занимает отдельный центр. (20 баллов)
4. Рассчитать посадочную площадку N,N,N',N'-тетраметилтионина хлорида (метиленового голубого, МГ) на мезопористом углероде с удельной поверхностью 100 $\text{м}^2/\text{г}$, если из натурального эксперимента известно, что адсорбционная ёмкость монослоя МГ на этом материале равна 95 мг/г. Молекулярная масса МГ равна 374 г/моль. (20 баллов).
5. Какую часть от абсолютной адсорбции составляет избыточная адсорбция, если в результате адсорбции концентрация адсорбата по сравнению с концентрацией адсорбтива увеличилась в 10 раз? (10 баллов).

КР3

1. Оценить наибольший диаметр пор в фитиле керосиновой лампы, обеспечивающий подъём керосина от дна до горелки на высоту 10 см. Считать поры цилиндрическими трубками постоянного сечения, смачивание полным, поверхностное натяжение керосина 24 дин/см^2 , плотность $0,82 \text{ г/см}^3$ (максимально 15 баллов).
2. Рассчитать давление насыщенного пара воды над каплями воды с дисперсностью $0,1 \text{ нм}^{-1}$ при температуре 293 К. Давление паров воды над плоской поверхностью при этой температуре равно 2338 Па, поверхностное натяжение $72,7 \text{ мДж/м}^2$. (15 баллов).
3. Рассчитать поверхностное натяжение ртути, если в стеклянном капилляре радиусом 0,2 мм её столбик опустился на 1 мм ниже уровня ртути в сосуде. Плотность ртути равна $13,6 \text{ г/см}^3$, контактный угол принять равным 140° . (15 баллов).
4. Рассчитать работу адгезии в системе вода-графит, зная, что угол смачивания равен 90° , а поверхностное натяжение воды равно $72,7 \text{ мДж/м}^2$. (20 баллов).
5. Известно, что добавление ПАВ может драматически снизить поверхностное натяжение водных растворов при пренебрежимо малом влиянии ПАВ на плотность. В связи с этим решить задачу: В воде плавает ареометр, стенки которого полностью смачиваются. Диаметр вертикальной цилиндрической части ареометра равен 6 мм. На сколько изменится глубина погружения ареометра, если на поверхность воды нанести каплю ПАВ с поверхностным натяжением 20 мДж/м^2 ? Поверхностное натяжение воды $72,7 \text{ мДж/м}^2$ (35 баллов).

КР4

1. Пористое пространство алюмосиликатного носителя с истинной плотностью $2,5 \text{ г/см}^3$, кажущейся плотностью $1,5 \text{ г/см}^3$ и удельной поверхностью $300 \text{ м}^2/\text{г}$ полностью заполняют углеродом с истинной плотностью $1,9 \text{ г/см}^3$. Далее исходный носитель полностью удаляют путём растворе-

- ния. Определить пористость, кажущуюся плотность и удельную поверхность полученного углеродного материала. (максимально 20 баллов).
2. Рассчитать зависимость пористости MgO , полученного при псевдоморфном разложении $\text{Mg}(\text{OH})_2$, от степени разложения, если известно, что истинная плотность гидроксида равна $2,34 \text{ г/см}^3$, оксида – $3,58 \text{ г/см}^3$. Молекулярные массы гидроксида и оксида равны $58,3 \text{ г/моль}$ и $40,3 \text{ г/моль}$, соответственно. (20 баллов).
 3. Оценить пикнометрическую плотность катализатора Ag/SiO_2 , содержащего 15 % масс. серебра, принимая плотность носителя SiO_2 $2,2 \text{ г/см}^3$, плотность металлического серебра $10,5 \text{ г/см}^3$. Определить суммарный объем пор в таком катализаторе при исходном удельном объеме пор носителя $0,8 \text{ см}^3/\text{г}$, предполагая, что весь нанесенный компонент находится в объеме пор носителя (20 баллов).
 4. Оценить удельную поверхность катализатора, рассмотренного в предыдущей задаче, при удельной поверхности исходного носителя $300 \text{ м}^2/\text{г}$ и размере частиц серебра 2 нм (форму частиц Ag для упрощения принять кубической) (20 баллов).
 5. Рассчитать удельный объем пор нанесенного $\text{Ni/Al}_2\text{O}_3$ катализатора, полученного двукратной пропиткой носителя раствором $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ с концентрацией (в расчете на Ni) $1,5 \text{ г/см}^3$ раствора. Удельный объем пор в исходном носителе $0,8 \text{ см}^3/\text{г}$ носителя. После каждой пропитки катализатор высушивается, нанесенный компонент восстанавливается до металлического Ni с пикнометрической плотностью $8,9 \text{ г/см}^3$. (30 баллов).

6.8. Перечень теоретических вопросов к экзамену по адсорбции и пористости

Серия Теория Т-I

Т-I-1. Обосновать главные стадии в приготовлении нанесенных катализаторов с адсорбцией и без адсорбции наносимого компонента.

- T-I-2.** Основные различия между физической и химической адсорбцией.
- T-I-3.** Приготовление нанесенных катализаторов. Стадия сушки.
- T-I-4.** Влияние взаимодействия а) адсорбат/адсорбент и б) адсорбат/адсорбент на форму изотермы адсорбции. Простейшие уравнения изотермы адсорбции, учитывающие вклад «б».
- T-I-5.** Поверхностная диффузия.
- T-I-6.** Основы теории перколяции. Решетка связей.
- T-I-7.** Особенности границы раздела фаз.
- T-I-8.** Варианты классификации адсорбатов и адсорбентов.
- T-I-9.** Определения микро-, мезо- и макропор. Свойства, способы измерения. Молекулярные сита и молекулярно-ситовые эффекты.
- T-I-10.** Ртутная порометрия. Особенности процессов в решетке взаимосвязанных пор.
- T-I-11.** Основные типы межмолекулярных взаимодействий при адсорбции.
- T-I-12.** Особенности процессов цикловой адсорбции.
- T-I-13.** Определение дисперсности. Способы расчета.
- T-I-14.** Объемные изменения при твердофазных превращениях. Псевдоморфоза.
- T-I-15.** Механизмы переконденсации и срастания на стадии золя.
- T-I-16.** Физический смысл и применение изотермы адсорбции Гиббса.
- T-I-17.** Коагуляция и ее механизмы.
- T-I-18.** Механизмы формирования структуры силикагелей при сушке.
- T-I-19.** Нанесенные катализаторы. Стадия высокотемпературной обработки и механизмы спекания.
- T-I-20.** Принципы образования высокодисперсных систем.
- T-I-21.** Получение силикагелей через золи- основные стадии и механизмы формирования.
- T-I-22.** Механизмы формирования структуры каталитического волокнистого углерода.
- T-I-23.** Гомогенное и гетерогенное зародышеобразование. Основные особенности и различия.
- T-I-24.** Особенности формирования структуры кристаллизующихся систем на стадиях осаждения, старения осадков и их термообработки.

- T-1-25.** Методы измерения теплоты адсорбции.
- T-1-26.** Следствия эффекта изменения объема твердой фазы при твердофазных превращениях.
- T-1-27.** Схема формирования структуры при сушке гидрогеля SiO_2 .
- T-1-28.** Методы измерения активной (парциальной) поверхности компонентов катализатора.
- T-1-29.** Что такое двойной электрический слой.
- T-1-30.** Особенности капиллярной конденсации в порах разной формы.
- T-1-31.** Получение пористых углеродных материалов традиционными методами.

Серия T-II.

- T-II-1.** Понятия теории перколяции. Рассказать на примере ртутной порометрии.
- T-II-2.** Свойства уравнения БЭТ. Достоинства и недостатки.
- T-II-3.** Уравнения изотермы адсорбции Генри и Ленгмюра. Идеи вывода и свойства.
- T-II-4.** Идеология вывода уравнения БЭТ и его использование.
- T-II-5.** Мезопористые мезофазы и перспективы их использования.
- T-II-6.** Поверхностное давление и его проявления.
- T-II-7.** Уравнение Леннарда-Джонса, его смысл, межмолекулярные расстояния.
- T-II-8.** Понятие о фракталах, их использование в описании пористой структуры.
- T-II-9.** Теория объемного заполнения микропор.
- T-II-10.** Стадии формирования структуры сибунита.
- T-II-11.** Понятие о кривизне поверхности. Физический смысл эффектов и основные соотношения.
- T-II-12.** ПАВ, положительная и отрицательная адсорбция, влияние на вид изотермы адсорбции.
- T-II-13.** Модель хаотически расположенных сфер. Основные понятия и результаты.
- T-II-14.** Влияние формы изотермы адсорбции на профиль фронта в динамике адсорбции.
- T-II-15.** Виды массопереноса при сушке пористых тел.
- T-II-16.** Адгезия и когезия, определения, связь.
- T-II-17.** Что вы знаете о капиллярной конденсации.

- Т-II-18.** Где можно использовать адсорбционные явления?
- Т-II-19.** Капиллярно-конденсационный гистерезис и его причины.
- Т-II-20.** Уравнение Кельвина и варианты его применения.
- Т-II-21.** Схема поверхностных избытков растворенного вещества на границе с парами растворителя.
- Т-II-22.** На носитель нанесен активный компонент. Обсудите возможные изменения удельной поверхности катализатора в зависимости от а) пористой структуры носителя, б) количества нанесенного компонента.
- Т-II-23.** Задача связей в теории перколяции. Основные понятия и результаты.
- Т-II-24.** Суть сравнительного метода анализа изотерм адсорбции. Три основных типа сравнительных графиков.
- Т-II-25.** Принципиальные механизмы формирования пироуглерода и сажи.
- Т-II-26.** Основные механизмы спекания активных частиц нанесенных катализаторов.
- Т-II-27.** Роль пористой структуры катализаторов в катализе.
- Т-II-28.** Основные типы радиального распределения активных компонентов нанесенных катализаторов и способы управления ими.
- Т-II-29.** Что такое пептизация. Дать примеры.
- Т-II-30.** Методы стабилизации и дестабилизации коллоидных систем.

Примеры задач и практических вопросов на экзамене

- П-1-1.** Вывести уравнение, связывающее удельную поверхность со средним размером пор и частиц.
- П-1-2.** Установить взаимосвязь между средними размерами пор и частиц.
- П-1-3.** Вывести уравнение, связывающее пористость с кажущейся и истинной плотностью.
- П-1-4.** Связь между истинной, кажущейся и насыпной плотностью.
- П-1-5.** Терминология: адсорбция, абсорбция, физическая и химическая адсорбция, адсорбат, адсорбент, адсорбтив.
- П-1-6.** Изотерма, изобара, изостера, вид графиков, определения, взаимосвязь.

П-1-7. Контактный угол смачивания θ и правило «трех сигм» (связь θ со значениями σ).

П-1-8. Способы измерения изотерм, изобар, изостер адсорбции.

П-1-9. Имеем силикагель с уд. поверхностью A $400 \text{ м}^2/\text{г}$ и уд. объемом пор $0.8 \text{ см}^3/\text{г}$, как изменить условия синтеза для увеличения уд. поверхности до $600\text{-}700 \text{ м}^2/\text{г}$ и сокращения пористости?

П-1-10. Вывести формулу для капиллярного поднятия жидкости в цилиндрическом капилляре малого радиуса со смачивающими стенками.

П-1-11. Описать механизм перераспределения соли в пористой матрице при испарении раствора.

П-1-12. Перечислите и обоснуйте возможности использования адсорбентов помимо прямых задач адсорбции.

П-1-13. Определить силу, действующую на пластинки, между которыми размещена капля жидкости, смачивающей материал пластинок.

П-1-14. Поднятие жидкости в капиллярах разной формы.

П-1-15. Рассчитать величину удельной поверхности по емкости монослоя $a_{\text{БЭТ}}$

П-1-16. Мыльные пузыри цилиндрической формы.

П-1-17. Основные механизмы спекания частиц.

П-1-18. Различия между физическим и численным экспериментом.

П-1-19. Силы, действующие на каплю жидкости на поверхности твердого материала.

П-1-20. Объяснить условия образования росы и «грибного» тумана.

П-1-21. Объяснить физико-химический механизм образования снежного наста.

П-1-22. Как получить бипористый силикагель.

П-1-23. Как должны изменяться изотермы адсорбции в одинаковых условиях в ряду Ne , Ar , Kr , Xe ?

П-1-24. Установить взаимосвязь между удельными величинами адсорбции α , t и θ

П-1-25. В чем суть динамического характера адсорбции?

П-1-26. Уравнение Ленгмюра для адсорбции двух компонентов.

П-1-27. Как пористость плотной случайной упаковки монодисперсных шаров зависит от их размера и истинной плотности материала.

П-1-28. По изотермам адсорбции построить изобары и изостеры

П-1-29. Какие геометрические факторы влияют на размер пор в корпускулярных системах?

П-1-30. Расскажите идеологию расчета распределения объема пор по характерным размерам в рамках простейшей модели цилиндрических пор.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Фенелонов В.Б., «Введение в физическую химию формирования супрамолекулярной структуры адсорбентов и катализаторов», изд СО РАН, Новосибирск, 2002 и 2004 (расширенное издание).
2. Фенелонов В.Б., Мельгунов М.С. «Адсорбционно-капиллярные явления и пористая структура катализаторов и адсорбентов» Изд НГУ, Новосибирск, 2010.
3. Карнаухов А.П. «Адсорбция. Текстура дисперсных и пористых материалов», Наука, Новосибирск, 1999.
4. В.А.Дзисько, «Основы методов приготовления катализаторов», Новосибирск, Наука, 1983 г.
5. Боресков Г.К., Гетерогенный катализ, Новосибирск, Наука, 1986.
6. Грег Г., Синг К., Адсорбция, удельная поверхность, пористость, М., Мир, 1984.
7. Адамсон А.Физическая химия поверхностей, М., Мир, 1979.
8. Щукин Е.Д., Перцов А.В., Амелина Е.А., Коллоидная химия, М. Высшая школа, 1992.
9. Handbook of Heterogeneous Catalysis, V. 1, Weinheim, Willey-VCH Verlag, 2008.

Дополнительная литература

1. Лен Ж.-М. «Супрамолекулярная химия», Новосибирск, Наука, 1998 г;

2. Jolivet J.-P. Metal Oxide Chemistry and Synthesis, Chichester, Wiley&Sons, 2000.
3. Allen T., Particle Size Measurement, London, Chapt Hill, 1981.
4. Somorjai G.A., Introduction to Surface Chemistry and Catalysis, N.Y. Wiley&Sons, 1994.
5. Allen M.P., Tildesley D.J., Computer Simulation of Liquids, Oxford, Oxford Univ. Press, 1986.
6. Роулинсон Дж., Уидом Б., Молекулярная теория капиллярности, М., Мир, 1986.
7. Джейкок М., Парфит Дж., Химия поверхности раздела фаз, М., Мир, 1984.
8. Де Бур Я., Динамический характер адсорбции, М., ИЛ, 1962.

в) *Интернет-ресурсы:*

1. [Савицкая Т.А. Коллоидная химия: опорный конспект лекций для студентов специальности 1-31 05 01 «Химия» / Т. А. Савицкая, Д. А. Котиков. – Мн.: БГУ, 2008.–132с.](#)

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Приборы:


Адсорбционный анализатор Autosorb-6B-Kr (Quantachrome Instruments);
Адсорбционный анализатор ASAP-2400 (Micromeritics Corp.);
Адсорбционный анализатор ASAP-2010 (Micromeritics Corp.);
Вакуумнопроточный дегазатор Flovac Degasser (Quantachrome Instruments);
Компьютерный терминальный класс (15 рабочих мест);
Персональные компьютеры с необходимым ПО (10), мультимедийный проектор, ноутбуки, экраны.

Лабораторная техника:

Электронные весы различного класса от технических до аналитических (Sartorius).


Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и с ОС ВПО, принятым в ФГАОУ ВО Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, с учетом рекомендаций ООП ВПО по направлению «020100 ХИМИЯ».

Авторы: Фенелонов Владимир Борисович, д.х.н., профессор кафедры катализа и адсорбции ФЕН, г.н.с. ИК СО РАН




подпись

Мельгунов Максим Сергеевич, к.х.н., старший преподаватель кафедры катализа и адсорбции ФЕН, зав. лаб. ИК СО РАН



подпись

Аюпов А.Б., ассистент кафедры катализа и адсорбции ФЕН, м.н.с. ИК СО РАН 

подпись

Программа одобрена на заседании кафедры катализа и адсорбции "21" апреля 2014 г.

Секретарь кафедры, к.х.н. 
_____ И.В. Делий