

МИНОБРНАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Химический факультет

**Аннотированная рабочая программа дисциплины**

**Адсорбционные процессы**

Направление подготовки  
**04.03.01 Химия**

Квалификация выпускника

**Бакалавр**

Форма обучения  
очная

Томск 2015

**1. Код и наименование дисциплины:**  
**Б1.В.ДВ.4.5.1 «Адсорбционные процессы»**

**2. Цель изучения дисциплины**

Целями освоения дисциплины «Адсорбционные процессы» являются ознакомление студентов: с понятийным аппаратом дисциплины, с основными закономерностями адсорбционных явлений, протекающих на границе раздела газ – твердое тело, на пористых и непористых адсорбентах, катализаторах, в наносистемах.

**3. Год/годы и семестр/семестры обучения.**

Программа рассчитана на изучение дисциплины «Адсорбционные процессы» на 4-ом курсе в течение одного (7-го) семестра .

**4. Общая трудоемкость дисциплины**

составляет 4 зачетные единицы, 144 часа, из которых 68 ч составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (36 часов – занятия лекционного типа, 32 ч – занятия семинарского типа), 40 ч составляет самостоятельная работа обучающегося, 36 – подготовка к экзамену. Для студентов проводятся групповые и индивидуальные консультации.

**5. Планируемые результаты обучения по дисциплине соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы**

<b>Формируемые компетенции (код компетенции, уровень (этап) освоения)</b>	<b>Планируемые результаты обучения по дисциплине</b>
<b>(СК-4), II уровень</b>	<b>З (СК-4) – II Знать:</b> основные понятия, теории адсорбции, закономерности и особенности протекания адсорбционных процессов на поверхности твердых тел; иметь представление о физико-химических процессах, происходящих на поверхности и в пористом пространстве твердого тела при адсорбции; о месте адсорбционных явлений в науке о поверхности, в производстве, в быту.
<b>СК-4</b> способность применять основные закономерности физической химии при решении конкретных задач химии и химической технологии, в том числе, синтеза и изучения функциональных свойств адсорбентов, катализаторов и других твердых тел, при использовании современных методов исследования, с целью их научного и практического применения.	<b>У (СК-4) – II Уметь:</b> различать физическую и химическую адсорбцию, анализировать изотермы, изобары, изостеры адсорбции, результаты изучения адсорбционных систем, делать выводы о механизме изучаемых процессов; формулировать задачи адсорбционных исследований.
	<b>У (СК-4) – II Уметь:</b> выполнять термодинамические и кинетические расчеты для адсорбционных систем и использовать приобретенные знания при решении профессиональных задач.
	<b>В (СК-4) – III Владеть</b> навыками: работы с учебной и научной литературой; выбора методов изучения адсорбционных явлений на границе раздела г/твердое тело, дающих возможность получить наиболее полную информацию об изучаемых системах,

материалах; применения теоретических представлений при обсуждении результатов адсорбционных исследований и использования их для решения фундаментальных и прикладных задач

## 6. Содержание дисциплины (модуля) и структура учебных видов деятельности

Наименование разделов и тем	Всего (час.)	Контактная работа (час.)			Самостоятельная работа (час.)
		Лекции	Вид учебных занятий	Семина. зан	
Основные понятия, зависимости, классификация, критерии различия физ. и хим. адсорбции	8	4		2	2
Экспериментальные методы изучения адсорбции	8	2		2	4
Энергия и термодинамика физической и химической адсорбции	10	2		4	4
Теории мономолекулярной адсорбции	20	8		6	6
Теории полимолекулярной адсорбции	12	4		4	4
Удельная поверхность твердых тел	8	4		2	2
Адсорбция на пористых телах	10	4		2	4
Адсорбционные процессы в промышленности	6	2		2	2
Фотосорбция. Основные понятия и закономерности	6	2		2	2
Особенности адсорбции в нанодисперсных системах	10	4		2	4
Теоретические индивидуальные задания	10			4	6
Итого	108	36		32	40
+ Экзамен					36
Всего за 7 семестр	144	36		32	76

### 6.1 Содержание дисциплины

Введение. Содержание предмета. Исторический очерк. Основные понятия, закономерности; классификация явлений сорбции и адсорбции. Основные способы описания равновесия адсорбции: изотермы, изобары, изостеры адсорбции.

Критерии различия физической и химической адсорбции.

Природа сил, действующих между адсорбатом и адсорбентом при физической и химической адсорбции. Энергия физической адсорбции. Потенциальные кривые Леннарда-Джонса. Теоретические расчёты адсорбционных химических взаимодействий.

Экспериментальные методы изучения адсорбции. Весовой и объёмный методы изучения адсорбции на границе раздела газ – твёрдое тело. Методы изучения адсорбции из растворов (границы раздела раствор – газ, твердое тело – раствор).

Термодинамика поверхностного слоя. Метод Гиббса. Метод слоя конечной толщины.

Термодинамика адсорбции. Теплота адсорбции. Классификация теплот адсорбции. Калориметрический метод определения теплоты адсорбции. Методы расчёта теплоты физической адсорбции. Эмпирические уравнения для оценки теплоты химической адсорбции. Энтропия адсорбции. Методы расчета энтропии адсорбции. Проблема инертности адсорбентов.

Равновесие на однородных и неоднородных поверхностях.

Теория Лэнгмюра. Вывод уравнения изотермы (кинетический и статистико-термодинамический). Применение уравнения Лэнгмюра к реальным системам. Реальный адсорбированный слой. Представления о неоднородности поверхности по реакционной способности различных адсорбционных центров, развиваемые в 50–60-х годах XX в. Рогинским, Тёмкиным, Зельдовичем и др. Изотермы Тёмкина, Фрейндлиха как формы выражения предположений о неоднородности поверхности. Изотермы адсорбции молекул на нескольких центрах однородной поверхности как альтернатива предположениям о неоднородности поверхности по представлениям, развиваемым в работах В.Е. Островского. Сравнение формы различных изотерм и применение уравнений изотерм адсорбции к опытным данным. Взаимное влияние адсорбированных частиц.

Кинетика адсорбции и десорбции. Основные закономерности. Кинетические уравнения для адсорбции на однородной и неоднородной поверхности, многоцентральной адсорбции с диссоциацией и без диссоциации адсорбированных частиц. Расчёт энергии активации.

Взаимосвязь кинетических и адсорбционных характеристик. Общие закономерности протекания мономолекулярной адсорбции в системах газ – твердое тело.

Полимолекулярная адсорбция. Теория Поляни. Теория и изотерма БЭТ. Изотерма Арановича. Теория полимолекулярной адсорбции на неоднородных поверхностях.

Удельная поверхность твёрдых тел. Адсорбционные и неадсорбционные методы определения удельной поверхности твердых тел. Активная поверхность адсорбентов и катализаторов. Внешняя поверхность твердых тел.

Современные представления в адсорбции. Механизм адсорбции на полупроводниках и диэлектриках. Взаимосвязь молекулярных и электронных процессов на поверхности полупроводников и диэлектриков.

Фотосорбция. Основные понятия и закономерности. Механизм фотосорбционных процессов.

Адсорбция на пористых телах. Разновидности пор адсорбентов и их структурные типы. Классификация адсорбентов по пористости. Модельные разновидности пор и закономерности адсорбции в них. Изотерма в относительных координатах. Проблема тонких пор.

Адсорбционные методы изучения кислотно-основных свойств поверхности твердых тел.

Адсорбция в нанокompозитных системах. Основные методы получения нанодисперсных систем. Особенности протекания в них адсорбционных процессов.

Адсорбция в промышленности. Методы проведения адсорбционно-десорбционных процессов. Промышленные адсорбенты. Активные угли. Силикагели и алюмогели. Молекулярные сита.

Заключение.

## **Семинарские занятия**

1. Экспериментальные методы изучения адсорбции на границе раздела газ – твердое тело. Расчет величины адсорбции в объёмном и весовом методах.

2. Изобары адсорбции. Построение изобар адсорбции по экспериментальным данным, их анализ.
3. Теплота адсорбции. Классификация теплот адсорбции. Расчет теплоты физической адсорбции по уравнениям Клапейрона – Клаузиуса и Беринга – Серпинского.
4. Теории мономолекулярной адсорбции. Построение изотерм мономолекулярной адсорбции, описание их различными функциональными зависимостями, предложенными Лэнгмюром, Тёмкиным, Фрейндлихом, Островским и др.
5. Энергия активации адсорбции. Расчет  $E_{адс}$  по уравнениям Аррениуса и с применением метода «контролирующей полосы» Рогинского.
6. Теории полимолекулярной адсорбции. Построение изотерм полимолекулярной адсорбции на твердых телах и проверка их на подчиняемость уравнениям для полимолекулярной адсорбции. Теплота полимолекулярной адсорбции.
7. Удельная поверхность твердых тел. Расчет величины удельной поверхности по уравнению БЭТ.
8. Пористые сорбенты. Построение структурных кривых и определение размеров пор.
9. Особенности адсорбционных явлений в нанодисперсных системах.
10. Контрольная работа.

**\*Примечание. Формы контроля предусматривают:**

- Самостоятельные и контрольная работа, выполняемые студентами после изучения материала на семинарах ;
- Коллоквиумы – 4;
- выполнение индивидуальных расчетных заданий (8);
- теоретическое индивидуальное задание;
- 2 промежуточных тестирования, для оценки остаточных знаний;
- Итоговая оценка в 7-ом семестре складывается из средней оценки по результатам контрольных работ, коллоквиумов, тестирования и экзамена.

**6.3. Форма промежуточной аттестации:**

Экзамен

**7. Ресурсное обеспечение дисциплины**

**7.1 Основная литература**

1. Минакова Т. С. Адсорбционные процессы на поверхности твердых тел : учебное пособие / Т. С. Минакова ; Том. гос. ун-т. - Томск : Издательство Томского университета, 2007. – 279 с.
2. Минакова Т.С., И.А. Екимова Фториды и оксиды щелочноземельных металлов и магния. Поверхностные свойства. Томск : Издательский Дом Томского государственного университета, 2014. - 147 с.
3. М. М. Сычев, Т. С. Минакова, Ю. Г. Слижов, О. А. Шилова. Кислотно-основные характеристики поверхности твердых тел и управление свойствами материалов и композитов. Санкт-Петербург: Химиздат, 2016. – 274 с.

**7.2. Дополнительная литература**

1. Оура К., Лифшиц В.Г., Саранин А.А. и др. Введение в физику поверхности. М.: Наука, 2006. 490 с.
2. Фенелонов В.Б. Введение в физическую химию формирования супрамолекулярной структуры адсорбентов и катализаторов. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 413 с.
3. Крылов О.В. Гетерогенный катализ. М.: ИКЦ «Академкнига», 2004. 679 с.
4. Карнаухов А.П. Адсорбция. Текстура дисперсных и пористых материалов. Новосибирск: Наука, 1999. 469 с.

5. Химия привитых поверхностных соединений / Под ред. Г.В. Лисичкина. М.: Физматлит, 2003. 589 с.

**7.3. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

<http://past.tpu.ru/files/nu/dissler/darmanskaya.pdf>

<http://www.chem.msu.su/rus/jvho/2000-1/89.pdf>

<http://narfu.ru/university/library/books/2196.pdf>

<http://www.studfiles.ru/preview/412084/>

<http://www.chem.msu.su/rus/teaching/tolmachev/tolmachev1.pdf>

**8. Преподаватель (преподаватели):**

Автор, Минакова Тамара Сергеевна, к.х.н., профессор кафедры физической и коллоидной химии