

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Химический факультет

УТВЕРЖДАЮ:

И.о. декана химического факультета

А. С. Князев

Рабочая программа дисциплины

Адсорбционные процессы

по специальности

04.05.01 Фундаментальная и прикладная химия

Направленность (профиль) подготовки:
Фундаментальная и прикладная химия

Форма обучения

Очная

Квалификация
химик-специалист, преподаватель

Год приема

2023

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОП

В.В. Шелковников

Председатель УМК

Л.Н. Мишенина

1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-1. Способен анализировать и интерпретировать результаты химических экспериментов, наблюдений и измерений в различных областях химии;

ОПК-2. Способен проводить синтез, анализ, изучение структуры и свойств веществ и материалов, исследовать процессы с их участием;

ОПК-3. Способен применять расчетно-теоретические методы для изучения свойств веществ и процессов с их участием, используя современное программное обеспечение и базы данных профессионального назначения;

ПК-1. Способен планировать работу и выбирать адекватные методы решения научно-исследовательских задач в выбранной области химии, химической технологии или смежных с химией науках.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

РООПК 1.1 Знает теоретические основы неорганической, органической, физической и аналитической химии, применяет их при решении профессиональных задач в других областях химии.

РООПК 1.2 Умеет систематизировать и интерпретировать результаты экспериментов и расчетно-теоретических работ с использованием теоретических основ традиционных и новых разделов химии

РООПК 1.3 Умеет грамотно формулировать заключения и выводы по результатам работы

РООПК 2.1 Знает стандартные приемы и операции, используемые при получении веществ неорганической и органической природы

РООПК 2.2 Знает теоретические основы методов изучения состава, структуры и свойств для грамотного выбора метода исследования

РООПК 2.3 Умеет проводить стандартные синтезы по готовым методикам, выполнять стандартные операции для определения химического и фазового состава веществ и материалов, а также использовать серийное научное оборудование для изучения их свойств

РООПК 3.2 Умеет решать расчетно-теоретические задачи химической направленности по разработанным методикам, использовать аппарат теоретической химии и физики для грамотной интерпретации полученных результатов

РОПК 1.1 Умеет разрабатывать стратегию научных исследований, составляет общий план и детальные планы отдельных стадий.

РОПК 1.2 Умеет выбирать экспериментальные и расчетно-теоретические методы решения поставленной задачи, используя достижения современной химической науки, и исходя из имеющихся, материальных, информационных и временных ресурсов.

2. Задачи освоения дисциплины

– Освоить и научиться применять понятийный аппарат дисциплины для решения практических задач профессиональной деятельности;

– Освоить основные теории моно- и полимолекулярной адсорбции и уравнения изотерм адсорбции, получить навыки анализа адсорбционных процессов в изучаемых системах;

– Получить представление об основных особенностях протекания адсорбции на пористых сорбентах;

– Научиться проводить термодинамические и кинетические расчёты, делать выводы о характере протекания адсорбционных процессов;

– Освоить методы определения удельной поверхности и пористости твердых сорбентов.

3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к Блоку 1 «Дисциплина (модули)».

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор. Дисциплина входит в модуль Модуль Физическая химия.

4. Семестр освоения и форма промежуточной аттестации по дисциплине

Седьмой семестр, экзамен

5. Входные требования для освоения дисциплины

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: неорганическая химия, аналитическая химия, органическая химия, физическая химия, высокомолекулярные соединения, коллоидная химия, физико-химические методы анализа, физика и строение вещества.

6. Язык реализации

Русский

7. Объем дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 з.е., 144 часов, из которых:

-лекции: 32 ч.

-практические занятия: 32 ч.

в том числе практическая подготовка: 32 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины, структурированное по темам

Тема 1. Сорбция. Адсорбция. Природа сил при адсорбции. Термодинамика адсорбции. Экспериментальное изучение адсорбции

Основные понятия: сорбция, адсорбция, классификация явления адсорбции по разным признакам. Экспериментальные методы изучения адсорбции. Термодинамика поверхностных явлений.

Тема 2. Равновесие, кинетика и общие закономерности мономолекулярной адсорбции.

Классификация изотерм адсорбции. Теории и изотермы мономолекулярной адсорбции.

Теория Лэнгмюра. Изотерма Генри. Вывод уравнения Генри. Особенности изотермы Генри. Реальный адсорбированный слой. Неоднородность поверхности и взаимное влияние адсорбированных частиц, разные точки зрения. Изотермы Темкина, Фрейндлиха, многоцентровой адсорбции на однородных поверхностях. Скорость адсорбции и десорбции. Энергии активации адсорбции и десорбции, методы расчета. Общие закономерности протекания адсорбционных процессов на однородных и неоднородных поверхностях.

Тема 3. Теории полимолекулярной адсорбции.

Многослойная (полимолекулярная) адсорбция. Теории адсорбции. Потенциальная теория Поляни. Теория БЭТ. Основные допущения. Вывод уравнения БЭТ. Анализ уравнения. Значение уравнения БЭТ. Изотерма Арановича.

Тема 4. Удельная поверхность адсорбентов. Адсорбция на пористых сорбентах. Проблема тонких пор.

Определение величины поверхности твёрдых тел. Анализ микропористых материалов. Ртутная порометрия. Особенности адсорбции в нанодисперсных системах.

Тема 5. Адсорбция в промышленности. Современные проблемы адсорбции.

Адсорбционные процессы в химической промышленности. Адсорбционно-десорбционные циклы. Промышленные адсорбенты.

Тема 6. Общие сведения о наносистемах и наноматериалах. Особенности адсорбционных процессов в нанодисперсных системах.

Современные адсорбционные установки, их возможности и проблемы. Чистота эксперимента. Адсорбционные модели и их реализация.

Темы практических занятий

Семинарские занятия

1. Расчет величины адсорбции в объемном 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. 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. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, выполнения домашних заданий, индивидуального задания, проведения коллоквиумов и контрольной работы и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр. Оценивание промежуточных заданий дает возможность и студенту и преподавателю отслеживать ход учебного процесса.

10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Экзамен в седьмом семестре проводится в устной форме по билетам. Экзаменационный билет состоит из четырех вопросов, проверяющих РООПК 1.1, РООПК 2.1, РООПК 2.2, РОПК 1.1, РОПК 1.2. Продолжительность экзамена 1,5 часа, из них 1 ч выделяется на подготовку ответов и 30 минут на ответ.

Примерный перечень теоретических вопросов

1. Пути развития и значение адсорбционных явлений.
2. Сорбция. Основные понятия. Классификация сорбционных явлений.
3. Основные зависимости при адсорбции: изотермы, изобары, изостеры адсорбции.
4. Критерии различия физической и химической адсорбции.
5. Природа сил и расчёт энергии физической адсорбции.
6. О методах расчёта хемосорбционных взаимодействий.
7. Экспериментальные методы изучения адсорбции. Методы подготовки твердой поверхности к адсорбционным исследованиям.
8. Экспериментальные методы изучения адсорбции. Статические методы изучения адсорбции.

9. Экспериментальные методы изучения адсорбции. Динамические методы.
10. Экспериментальные методы изучения адсорбции. Статические и динамические методы изучения адсорбции на границе раздела раствор – твёрдое тело.
11. Адсорбция на границе раздела газ – раствор.
12. Теплота адсорбции. Классификация теплот адсорбции. Калориметрический метод определения теплот адсорбции. Методы расчёта теплот адсорбции. Эмпирические уравнения для оценки теплот адсорбции.
13. Энтропия адсорбции. Методы расчёта энтропии адсорбции. Проблема инертности адсорбентов.
14. Классификация ИЮПАК изотерм адсорбции.
15. Теория Поляни для полимолекулярной адсорбции. Общие представления о адсорбционном потенциале, адсорбционном объёме. Характеристическая кривая. Возможности теории Поляни.
16. Теория Лэнгмюра: основные положения, кинетический вывод уравнения Лэнгмюра. Формы записи и анализ уравнения.
17. Скорость адсорбции и десорбции (уравнения Лэнгмюра, Бэнхема-Барта, Квана).
18. Изотерма Генри. Особенности изотермы Генри.
19. Теории БЭТ. Основные допущения. На чём основан вывод уравнения БЭТ. Анализ уравнения БЭТ. Значение уравнения БЭТ.
20. Реальный адсорбционный слой. Изотерма Тёмкина, изотерма Френдлиха.
21. Энергия активации адсорбции и десорбции. Методы расчёта.
22. Физический смысл понятия «удельная поверхность». Неадсорбционные методы определения удельной поверхности.
23. Физический смысл понятия «удельная поверхность». Определение величины удельной поверхности на основании адсорбционных данных (метод Лэнгмюра, метод БЭТ).
24. Определение активной поверхности методами хемосорбции.
25. Определение величины внешней поверхности.
26. Основные понятия, используемые при рассмотрении пористой структуры твердых тел
27. Классификация пор и пористых тел по различным признакам
28. Модельные виды пор и закономерности конденсации в них. Уравнение Кельвина (Томсона), форма мениска.
29. Классификация петель гистерезиса при капиллярной конденсации.
30. Особенности адсорбции в микропорах. Теория объёмного заполнения микропор. Уравнение Дубинина – Радушкевича.
31. Ртутная порометрия: суть метода и информация, получаемая этим методом.
32. Обработка адсорбционных данных: описание изотермы адсорбции-десорбции азота, определение объёма пор, построение распределения пор по размерам и др.
33. Обработка адсорбционных данных для микропористых сорбентов: описание изотермы адсорбции-десорбции азота, определение объёма пор и микропор, t-plot метод, построение распределения пор по размерам и др.
34. Примеры применения сорбции в промышленности. Особенности адсорбции в промышленных адсорберах, адсорбционно-десорбционный цикл.
35. Классификация сорбентов. Требования к промышленным сорбентам.
36. Углеродные сорбенты: примеры, получение, особенности структуры и примеры применения.
37. Силикагели: примеры, получение, особенности структуры и примеры применения.
38. Оксиды алюминия: примеры, получение, особенности структуры и примеры применения.

39. Цеолиты: примеры, получение, особенности структуры и примеры применения.

Результаты экзамена определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Оценка «отлично» выставляется в случае полного безошибочного ответа, полностью раскрывающего суть вопросов, с правильным применением понятий и определений.

Оценка «хорошо» выставляется в случае достаточно полного ответа, содержащего несущественные ошибки, и при недостаточно чётком ответе на уточняющие и дополнительные вопросы.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, не показавшему знания в полном объеме, допустившему ошибки и неточности при ответе на вопросы экзаменационного билета. При этом хотя бы по двум вопросам билета ошибки не должны иметь принципиального характера.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту в случае неполного и поверхностного ответа на три из четырех вопросов билета, при допущении принципиальных ошибок в ответах на дополнительные и уточняющие вопросы.

11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» - <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=21485>

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

в) План практических занятий по дисциплине.

г) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.

12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

– Минакова Т. С. Адсорбционные процессы на поверхности твердых тел : учебное пособие / Т. С. Минакова ; Том. гос. ун-т. – Томск : Изд-во Томского ун-та, 2007. – 279 с. URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000239327>.

– Макаревич Н. А. Теоретические основы адсорбции: уч. Пособие / Н. А. Макаревич – Архангельск: Издательство САФУ, 2015. – 362 с. URL: <http://sun.tsu.ru/limit/2016/000551151/000551151.pdf>.

– Комаров В. С. Адсорбенты и носители катализаторов. Научные основы регулирования пористой структуры : монография / В. С. Комаров, С. В. Бесараб. – М. : ИНФРА-М, 2020. – 203 с. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/1078357>.

– Фенелонов В. Б. Введение в физическую химию формирования супрамолекулярной структуры адсорбентов и катализаторов / В. Б. Фенелонов – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. – 413 с.

– Matthias Thommes, Katsumi Kaneko, Alexander V. Neimark, James P. Olivier, Francisco Rodriguez-Reinoso, Jean Rouquerol and Kenneth S.W. Sing Physisorption of gases, with special reference to the evaluation of surface area and pore size distribution (IUPAC Technical Report) // Pure Appl. Chem. 2015.

б) дополнительная литература:

– М. М. Сычев, Т. С. Минакова, Ю. Г. Слизов, О. А. Шилова. Кислотно-основные характеристики поверхности твердых тел и управление свойствами материалов и композитов. Санкт-Петербург : Химиздат, 2016. – 274 с.

– Минакова Т. С., Екимова И. А. Фториды и оксиды щелочноземельных металлов и магния. Поверхностные свойства. Томск : Издательский Дом ТГУ, 2014.

– Толмачев А. М. Термодинамика адсорбции газов, паров и растворов. Москва, МГУ. 2012. <http://www.chem.msu.su/rus/teaching/tolmachev/tolmachev1.pdf>.

- Толмачев А. М. Термодинамика адсорбции газов, паров и растворов // Физикохимия поверхности и защита материалов. 2010. Т. 46. – № 2. – С. 136-150.
- K. A. Cychosz, R. Guillet-Nicolas, J. Garcia-Martinez, M. Thommes. Recent advances in the textural characterization of hierarchically structured nanoporous materials // Chem. Soc. Rev., 2017, 46, 389. DOI: 10.1039/c6cs00391e.
- Mahdieh Mozaffari Majd, Vahid Kordzadeh-Kermani, Vahab Ghalandari, Anis Askari, Mika Sillanpää. Adsorption isotherm models: A comprehensive and systematic review (2010–2020) // Science of the Total Environment. 2022. V. 812. P. 151334. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2021.151334](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151334)

в) ресурсы сети Интернет:

- <https://www.scopus.com/>
- <https://apps.webofknowledge.com>
- <https://elibrary.ru>
- <http://past.tpu.ru/files/nu/disser/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>

13. Перечень информационных технологий

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

- Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office On-eNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook);
- публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.).

б) информационные справочные системы:

- Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ – <http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>
- Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ – <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>
- ЭБС Лань – <http://e.lanbook.com/>
- ЭБС Консультант студента – <http://www.studentlibrary.ru/>
- Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>
- ЭБС ZNANIUM.com – <https://znanium.com/>
- ЭБС IPRbooks – <http://www.iprbookshop.ru/>

14. Материально-техническое обеспечение

Аудитории для проведения занятий лекционного типа.

Аудитории для проведения занятий семинарского типа, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

15. Информация о разработчиках

Мамонтов Григорий Владимирович, канд. хим. наук, кафедра физической и коллоидной химии химического факультета Томского государственного университета, доцент.