



**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
Институт физической химии и электрохимии
им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук
(ИФХЭ РАН)**

Рабочая программа дисциплины

Теория поверхностных явлений и адсорбция

по направлению подготовки 04.06.01 Химические науки (уровень подготовки
кадров высшей квалификации)

Специальность 02.00.04- Физическая химия

Москва

2014 год

1. Цели и задачи освоения дисциплины

Цели дисциплины Подготовить аспирантов и специалистов – физико-химиков к научно-исследовательской деятельности, связанной с разработкой и применением методов теории поверхностных явлений и адсорбционных процессов в различных областях материаловедения и физической химии.

Задачи дисциплины: Создание углубленного представления о поверхностных явлениях, их месте и роли в материаловедении и в химической промышленности. Освоение теоретических основ поверхностных явлений и адсорбции. Формирование глубокого понимания общих закономерностей, описывающих изменение термодинамических функций процессах, происходящих в системах с участием поверхностей раздела фаз. Обучение навыкам теоретического анализа результатов экспериментальных исследований в области поверхностных явлений и адсорбции, методам планирования экспериментов и обработки их результатов, систематизирования и обобщения как уже имеющейся в литературе, так и самостоятельно полученной в ходе исследований информации.

2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Теория поверхностных явлений и адсорбция» относится к группе специальных дисциплин отрасли науки «Химические науки» и научной специальности «Физическая химия».

Настоящая дисциплина «Теория поверхностных явлений и адсорбция» - модуль основной образовательной программы высшего образования – программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по специальности 02.00.04- физическая химия.

Обучающийся по данной дисциплине должен иметь фундаментальные представления по физической химии. Для изучения данной дисциплины необходимо высшее образование с освоением курса физической химии для химических специальностей.

3 Требования к результатам освоения дисциплины

В рамках данной дисциплины углубляются и развиваются следующие компетенции:

а) универсальные компетенции: способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при

решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1); способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки (УК-2); готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач (УК-3); готовность использовать современные методы и технологии научной коммуникации на государственном и иностранном языках (УК-4); способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития (УК-5).

б) общепрофессиональные компетенции: способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1); готовность организовать работу исследовательского коллектива в области химии и смежных наук (ОПК-2); готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования (ОПК-3).

в) общекультурные компетенции: способность и готовность совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, получать знания в области современных проблем науки, техники и технологии, гуманитарных, социальных и экономических наук (ОК-1); способность к профессиональному росту, самостоятельному освоению новых методов, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности (ОК-2); способность определять и анализировать проблемы, планировать стратегию их решения (ОК-14); способность самостоятельно применять методы и средства познания, обучения и самоконтроля для приобретения новых знаний и умений, в том числе в новых областях, непосредственно не связанных со сферой деятельности (ОК-15);

г) профессиональные компетенции: - понимание сущности и социальной значимости профессии, основных перспектив и проблем, определяющих конкретную область деятельности (ПК-1); понимание роли естественных наук (химии в том числе) в выработке научного мировоззрения (ПК-2); способность использовать в познавательной и профессиональной деятельности базовые знания в области математики и естественных наук

(ПК-3); умение использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования (ПК-4); знание основных этапов и закономерностей развития химической науки, наличие представлений о системе фундаментальных химических понятий и методологических аспектов химии, форм и методов научного познания, их роли в общеобразовательной профессиональной подготовке химиков (ПК-5); умение ориентироваться в создающихся условиях производственной деятельности и к адаптации в новых условиях с использованием основных законов естественнонаучных дисциплин (ПК-6); понимание необходимости и способность приобретать новые знания с использованием современных научных методов и владением ими на уровне, необходимом для решения задач, имеющих естественнонаучное содержание и возникающих при выполнении профессиональных функций (ПК-7); понимание проблем организации и управления деятельностью научных коллективов (ПК-8); понимание принципов работы и умение работать на современной научной аппаратуре при проведении научных исследований (ПК-9); владение современными компьютерными технологиями, применяемыми при обработке результатов научных экспериментов и сборе, обработке, хранении и передаче информации при проведении самостоятельных научных исследований, свободное владение ими при проведении самостоятельных научных исследований (ПК-10); знание основ теории фундаментальных разделов физической химии (ПК-11); умение применять основные законы химии при обсуждении полученных результатов, в том числе с привлечением информационных баз данных (ПК-12); владение навыками химического эксперимента, основными синтетическими и аналитическими методами получения и исследования химических веществ и реакций (ПК-13); владение методами регистрации и обработки результатов химических экспериментов (ПК-15); понимание необходимости безопасного обращения с химическими материалами с учетом их физических и химических свойств, способность проводить оценку возможных рисков (ПК-16); способность на научной основе организовать свой труд, самостоятельно оценить результаты своей деятельности, владение навыками самостоятельной работы, в том числе в сфере проведения научных исследований (ПК-17); умение анализировать научную литературу с целью выбора направления и методов, применяемых в исследовании, способность самостоятельно составлять план исследования (ПК-18); способность анализировать полученные результаты, делать необходимые выводы и формулировать предложения (ПК-19); наличие опыта

профессионального участия в научных дискуссиях, умение представлять полученные в исследованиях результаты в виде отчетов и научных публикаций (стендовые доклады, рефераты и статьи в периодической научной печати) (ПК-20); способность определять и анализировать проблемы, планировать стратегию их решения (ПК-21); владение основами делового общения, наличие навыков межличностных отношений и способность работать в научном коллективе (ПК-22); владение базовыми понятиями экологической химии, способность оценивать экологические риски производств и применять принципы зеленой химии при разработке химических реакций и технологических производств (ПК-23).

4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц (180 часов).

4.1 Структура дисциплины

№ п/п	Наименование дисциплины	Объем учебной работы (в часах)						Вид итогового контроля	
		Всего	Всего аудит.	Из аудиторных					Сам. работа
				Лекц.	Лаб.	Прак.	КСР.		
1	Теория поверхностных явлений и адсорбция	180	108	36		72		72	зачет

4.2 Содержание дисциплины

4.2.1 Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Раздел дисциплины	Виды учебной работы, и трудоемкость (в часах)				Самостоятельная работа
		Лек.	Лаб.	Пр.	КСР	
1	Термодинамика поверхностных явлений	18		36		36
2	Адсорбция газов и паров на поверхности твердых тел	12		18		18
3	Адсорбция из	6		18		18

	растворов					
--	------------------	--	--	--	--	--

4.2.2 Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела (темы)	Форма проведения занятий
1	Термодинамика поверхностных явлений	1. Основы термодинамики поверхностного слоя. 2. Поверхностное натяжение и адсорбция. 3. Адгезия, смачивание и растекание жидкостей. 4. Поверхностные силы, как инструмент управления смачиванием. 5. Применение нанокompозитных покрытий для управления смачиванием. 6. Гидрофобность и супергидрофобность в природе и в технике. 7. Защита материалов от коррозии с помощью нанокompозитных супергидрофобных покрытий. 8. Дисперсность и термодинамические свойства тел.	Лекции, семинары, практические работы
2	Адсорбция газов и паров на поверхности твердых тел	1. Классификация механизмов адсорбции. 2. Адсорбция газов и паров на однородной поверхности. 3. Адсорбция газов и паров на пористых материалах.	Лекции, семинары, практические работы
3	Адсорбция из растворов	1. Обменная молекулярная адсорбция. 2. Ионообменная адсорбция. 3. Адсорбция ПАВ на границе раствора с газом.	Лекции, семинары, практические работы

5. Образовательные технологии

1. Активные образовательные технологии: лекции, семинары и практические работы.
2. Сопровождение лекций визуальным материалов в виде слайдов, подготовленных с использованием современных компьютерных технологий (программный пакет презентаций Microsoft Office Powerpoint), проецируемых на экран с помощью видеопроектора, а также результатов компьютерного моделирования поверхностных явлений и адсорбционных процессов.
3. Проведение практических работ в научной лаборатории, участие обучаемых в научной работе и выполнении исследовательских проектов.

4. Использование специального программного обеспечения и интернет-ресурсов для обучения в ходе практических и самостоятельных работ.

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

Виды самостоятельной работы: в домашних условиях, в читальном зале библиотеки, на компьютерах с доступом к базам данных и ресурсам Интернет, в лабораториях с доступом к лабораторному оборудованию и приборам.

Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим учебники, учебно-методические пособия, конспекты лекций, учебное и научное программное обеспечение, ресурсы Интернет.

Форма контроля знаний – зачет в конце курса, включающий теоретические вопросы и задачу.

Контрольные вопросы к зачету:

Термодинамика поверхностных явлений

Основы термодинамики поверхностного слоя. Основные отличия свойств поверхностного слоя от свойств объемных фаз. Способы описания термодинамики поверхностных явлений. Метод избыточных величин Гиббса. Разделяющая поверхность и поверхность разрыва. Поверхностная энергия в обобщенном уравнении первого и второго начал термодинамики. Природа взаимодействующих фаз и поверхностное натяжение. Поверхностное натяжение – мера энергии Гиббса межфазной поверхности. Уравнение Гиббса-Гельмгольца для внутренней (полной) энергии поверхностного слоя. Теплота образования единицы поверхности. Зависимость энергетических параметров поверхностного слоя от температуры.

Поверхностное натяжение и адсорбция. Определение адсорбции. Уравнение состояния при адсорбции. Изотерма, изобара, изостера адсорбции. Фундаментальное адсорбционное уравнение Гиббса (связь поверхностного натяжения с химическим потенциалом). Гиббсовская (избыточная) адсорбция. Уравнения Гиббса-Дюгема. Поверхностная активность веществ. Поверхностно-активные, поверхностно-инактивные вещества на разных межфазных границах.

Адгезия, смачивание и растекание жидкостей. Адгезия и когезия. Природа сил взаимодействия при адгезии. Адгезионное соединение и его

характеристики. Характер и условия разрушения адгезионного соединения. Смачивание и краевой угол. Закон Юнга. Связь работы адгезии с краевым углом (уравнение Дюпре—Юнга). Лиофильные и лиофобные поверхности. Измерение краевого угла. Факторы, влияющие на установление равновесия при смачивании. Гистерезис краевого угла. Влияние ПАВ, температуры и шероховатости поверхности на смачивание. Условия растекания жидкостей. Коэффициент растекания по Гаркинсу. Межфазное натяжение на границе между взаимно-насыщенными жидкостями и правило Антонова. Избирательное смачивание. Практическое значение адгезии и смачивания. Флотация.

Поверхностные силы, как инструмент управления смачиванием. Макроскопический и микроскопический краевые углы. Переходная зона между объемной жидкостью и смачивающей пленкой. Теория Фрумкина – Дерягина. Смачивание пористых и гетерогенных поверхностей. Оценка состояния поверхности материалов по измерениям смачивания и растекания. Уравнение Касси.

Применение нанокompозитных покрытий для управления смачиванием. Гидрофобность и супергидрофобность в природе и в технике. Смачивание шероховатых поверхностей. Гомогенный и гетерогенный режимы смачивания. Уравнение Касси-Бакстера. Текстурирование поверхности для управления смачиванием. Методы получения текстурированных поверхностей. Гидрофобные агенты. Примеры природных супергидрофобных поверхностей. Области применения гидрофобных и супергидрофобных материалов.

Защита материалов от коррозии с помощью нанокompозитных супергидрофобных покрытий. Взаимодействие гидрофобных и супергидрофобных материалов с водными средами. Механизмы защитного действия супергидрофобных покрытий. Коллоидно-химические методы текстурирования поверхности для достижения супергидрофобного состояния. Агрегация и самоорганизация частиц. Поведение супергидрофобных покрытий при длительном контакте с водными растворами.

Дисперсность и термодинамические свойства тел. Дисперсность как термодинамический параметр. Капиллярные явления в жидкостях (уравнение Лапласа). Капиллярный метод определения поверхностного натяжения (формула Жюрена). Уравнение Кельвина; изотермическая перегонка вещества. Роль капиллярных явлений в природе и технологии. Поверхностная энергия и равновесные формы тел. Принцип Гиббса—Кюри. Закон Вульфа. Зависимость термодинамической реакционной способности от дисперсности. Влияние дисперсности на растворимость, константу равновесия химической реакции, температуру фазового перехода. Нанодисперсные системы.

Адсорбция газов и паров на поверхности твердых тел

Классификация механизмов адсорбции (физическая адсорбция, хемосорбция и ионообменная адсорбция). Природа адсорбционных сил. Особенности составляющих сил Ван-дер-Ваальса (ориентационных, индукционных и дисперсионных) при адсорбции. Уравнение для потенциальной энергии взаимодействия атома (молекулы) с поверхностью тела при адсорбции.

Адсорбция газов и паров на однородной поверхности. Уравнение мономолекулярной адсорбции Ленгмюра и его анализ. Определение констант уравнения. Уравнение Фрейндлиха. Теория полимолекулярной адсорбции БЭТ. Определение удельной поверхности методом БЭТ. Отличия физической адсорбции от хемосорбции.

Кинетика мономолекулярной адсорбции. Динамическое уравнение адсорбции. Уравнение Френкеля. Расчет термодинамических параметров адсорбции. Интегральная и дифференциальная (адсорбционный потенциал) работы адсорбции; интегральная и дифференциальная энтропия и энтальпия (теплота) адсорбции и смачивания на энергетически однородной и неоднородной поверхностях.

Адсорбция газов и паров на пористых материалах. Количественные характеристики пористых материалов. Пористые тела корпускулярной, кристаллической и губчатой структуры, методы их получения. Классификация пор по Дубинину и теории адсорбции.

Теория капиллярной конденсации. Капиллярно-конденсационный гистерезис. Принцип ртутной порометрии. Расчет интегральной и дифференциальной кривых распределения объема пор по размерам.

Особенности адсорбции на микропористых материалах. Потенциальная теория Поляни. Адсорбционный потенциал. Характеристическая кривая адсорбции. Обобщенное уравнение теории Дубинина объемного заполнения микропор, частные случаи этого уравнения (уравнение Дубинина—Радушкевича). Адсорбция газов и паров в химической технологии.

Адсорбция из растворов

Обменная молекулярная адсорбция. Уравнение Гиббса для обменной молекулярной адсорбции. Изотерма гиббсовской адсорбции. Уравнение изотермы молекулярной адсорбции с константой обмена и ее анализ. Изотермы избирательной адсорбции, адсорбционная азеотропия.

Ионообменная адсорбция. Классификация ионитов и методы их получения. Основные физико-химические характеристики ионитов. Полная и динамическая обменные емкости, набухаемость и селективность. Константа

равновесия ионного обмена, формула Никольского. Уравнение изотермы ионного обмена. Практическое использование ионитов.

Адсорбция ПАВ на границе раствора с газом. Уравнение Гиббса. Влияние строения молекул ПАВ на поверхностную активность. Зависимость поверхностного натяжения от состава раствора при соблюдении закона Генри и уравнения Лэнгмюра. Отличия адсорбции на поверхности жидкостей и твердых тел.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Рекомендуемая литература

а) основная литература:

1. Пригожин И., Дефей Р. Химическая термодинамика. / пер. с англ. И. А. Успенской, В. А. Ивановой, под ред.: В. А. Михайлова. – 2-е изд., стер. – М: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. – 533 с.
2. Ролдугин В. И. Физикохимия поверхности. Долгопрудный: Интеллект, 2011. – 568 с.
3. Дерягин Б.В., Чураев Н.В., Муллер В.М. Поверхностные силы. М: Наука, 1985 – 398 с.
4. Адамсон А. Физическая химия поверхностей. – М.: Мир. 1979. – 568 с.
5. Карнаухов А.П. Адсорбция. Текстура дисперсных и пористых материалов. Новосибирск: Наука. Сиб. предприятие РАН, 1999. - 470 с.

б) дополнительная литература:

1. Румер Ю.Б., Рывкин М.С. Термодинамика, статистическая физика и кинетика. – 2-е изд., испр. и доп. – Новосибирск: Изд-во НГУ, 2000. – 608 с.
2. Жуховицкий А.А. Физическая химия: учеб. для студ. вузов, обуч. по металлург. спец. / А. А. Жуховицкий, Л. А. Шварцман. - 5-е изд., стер. - М. : Металлургия, 2001. - 687 с.
3. Даниэльс Ф., Олберти Р. Физическая химия : пер. со 2-го англ. изд. / Ф. Даниэльс, Р. Альберти ; ред. К. В. Толмачева. - М. : Высш. шк., 1967. - 784 с.
4. Киселев А.В. Межмолекулярные взаимодействия в адсорбции и хроматографии. М.: Высш. шк., 1986. – 360 с.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

Единое окно доступа к образовательным ресурсам Федерального портала Российское образование <http://www.window.edu.ru>, национальный WWW-сервер по химии www.chem.msu.ru

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

НОК располагает материально-технической базой, обеспечивающей проведение всех видов теоретической и практической подготовки, предусмотренных учебным планом, а также эффективное выполнение диссертационной работы:

Аудитория для проведения лекций, оснащенная компьютером и проектором для показа слайдов компьютерных презентаций. Компьютеры, объединенные в локальную сеть с выходом в Интернет и подключенные к международным и российским научным базам данных и электронной библиотеке с основными международными научными журналами.

Инструментальная база НОК основана на центре коллективного пользования физическими методами исследования ИФХЭ РАН. В составе имеющегося оборудования ЯМР-спектрометр фирмы «Брукер»: AVANCE II DRX-600, масс-спектрометр MALDI-TOF Bruker ultraflex III, масс-спектрометр ICP-MS - Bruker Daltonics aurora M90, спектрофотометр УФ и видимой области Specord M400, ИК-спектрометр Perkin-Elmer-2000, спектрофотометр Agilent 8453, сканирующий зондовый микроскоп Solver P47 PRO, атомно-силовой микроскоп – спектрометр Force Master 402 MD, рентгено-флюороресцентный микроанализатор VRA-30, рентгеновский дифрактометр Shimadzu XRD-6000 и многие другие приборы. Лаборатории оснащены современными приборами для физикохимического анализа.

Автор программы – главный научный сотрудник лаборатории поверхностных сил, член-корреспондент РАН Людмила Борисовна Бойнович.

Программа составлена в соответствии с требованиями приказа Минобрнауки России от 30.07.2014 г. № 869 «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 04.06.01 Химические науки (уровень подготовки кадров высшей квалификации)».

Программа рассмотрена и утверждена секцией Ученого Совета ИФХЭ РАН «Поверхностные явления в коллоидно-дисперсных системах, физико-химическая механика и адсорбционные процессы» (протокол № 9-10/2014-1 от 10 сентября 2014 г.)

Председатель секции:

Гл.н.с. лаборатории поверхностных сил
член-корреспондент РАН

Л.Б. Бойнович