



**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ**

**Институт физической химии и электрохимии
им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук
(ИФХЭ РАН)**

ПРИНЯТО

Ученым советом ИФХЭ РАН
Протокол № 3 от 20 марта 2012 г.
Председатель Ученого совета

академик

А.Ю. Цивадзе



Рабочая программа дисциплины

Физика коллоидов и поверхностей

Специальность 01.04.07 - Физика конденсированного состояния

Москва

2011 год

1. Цели и задачи освоения дисциплины

Цели дисциплины Подготовить аспирантов к научно-исследовательской деятельности в области, связанной с разработкой и применением методов физики и химии коллоидных систем и поверхностных явлений.

Задачи дисциплины: Создание углубленного междисциплинарного представления о физике коллоидных систем, ее практических применениях и ее месте среди других физических и химических наук. Формирование глубокого понимания общих закономерностей физических процессов, определяющих поведение таких систем и лежащих в основе современных нанотехнологических приложений. Обучение навыкам теоретического анализа результатов экспериментальных исследований, связанных с физикой коллоидов, 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

Данная дисциплина относится к группе специальных дисциплин отрасли науки «Физико-математические науки» и научной специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния (Приказ Министерства образования и науки РФ от 25 февраля 2009 г. N 59 "Об утверждении Номенклатуры специальностей научных работников")». Настоящая обязательная дисциплина «Физика коллоидов и поверхностей» - модуль основной образовательной программы послевузовского профессионального образования (ООП ППО) по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния».

Обучающийся по данной дисциплине должен иметь фундаментальные представления о физике конденсированного состояния. Для обучения по данной дисциплине необходимо высшее образование с освоением курса по коллоидной химии в объеме для химических специальностей или физике конденсированного состояния в объеме для физических специальностей.

3 Требования к результатам освоения дисциплины

В рамках данной дисциплины углубляются и развиваются следующие компетенции:

а) общекультурные компетенции: способность к самостоятельному освоению новых методов, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности; способность самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения; способность к проведению самостоятельной научно-исследовательской работы;

б) профессиональные компетенции: представление об основах физики и химии коллоидных систем: связи поверхностных свойств микро- и нанообъектов с их физическими и гидродинамическими характеристиками, особенностях транспортных процессов, устойчивости коллоидных систем и методах их исследования. Способность использовать современное программное обеспечение для анализа результатов эксперимента и компьютерного моделирования, а также теоретического анализа коллоидных систем. Понимание общих закономерностей процессов, протекающих вблизи межфазных границ, взаимосвязи между капиллярными, гидродинамическими и электрокинетическими явлениями. Способность выбирать оптимальные решения при выборе необходимых подходов и методов исследований; способность систематизировать и обобщать как уже имеющуюся в литературе, так и самостоятельно полученную в ходе исследований информацию; способность разрабатывать теоретические модели, позволяющие объяснять наблюдаемые результаты процессов и предсказывать пути их оптимизации; способность проводить необходимые физико-химические исследования коллоидных систем с использованием современных экспериментальных физико-химических методов, теоретического анализа и методов компьютерного моделирования, способность к самостоятельному освоению новых методов и подходов, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности; способность самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения; способность к проведению самостоятельной научно-исследовательской работы.

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	Из аудиторных	Сам.	

			аудит.	Лекц.	Лаб.	Прак.	КСР.	работа	
1	Физика коллоидов и поверхностей	180	132	36	96			48	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	Капиллярность и смачивание	10	30			12
2	Пленки и прослойки и их устойчивость	8	18			10
3	Электрокинетические и другие межфазные транспортные явления	8	20			12
4	Мицеллы, эмульсии и пены	6	18			8
5	Адгезия	4	10			6

4.2.2 Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела (темы)	Форма проведения занятий
1	Капиллярность и смачивание	1. Введение. Классификация коллоидных систем. Традиционные и современные приложения. 2. Поверхностное и межфазное натяжение. Уравнение Лапласа. Уравнение Кельвина. 3. Смачивание. Гидрофобные и гидрофильные поверхности. Эластокапиллярность. 4. Реальные поверхности. Гистерезис контактного угла и пининг. Шероховатость и химическая неоднородность. 5. Супергидрофобность. Эффект «Лотоса»	Лекции, семинары

		<p>уравнение Касси. Уравнение Венцеля. Переход Касси-Венцель.</p> <p>6. Межфазная гидродинамика. Уравнения Навье-Стокса. Число Рейнольдса. Типы межфазных границ. Инерционные течения.</p> <p>7. Вязкие течения. Теория смазки. Уравнения Пуазейля и Дарси.</p> <p>8. Типы растекания. Динамический краевой угол. Образование тонких пленок и нанесение покрытий.</p> <p>9. Межфазные неустойчивости. Затухание и эволюция волнового движения. Капиллярные и гравитационные волны.</p> <p>10. Различные типы межфазных неустойчивостей: капиллярные, вязкие, гравитационные и другие.</p>	
2	Пленки и прослойки и их устойчивость	<p>1. Поверхностные силы, изменение толщины пленки, энергия взаимодействия и расклинивающее давление.</p> <p>2. Типы пленок. Пленки на шероховатых поверхностях. Проявления дальнедействующих сил в явлениях смачивания.</p> <p>3. Типы поверхностных сил и их измерение. Аппроксимация Дерягина.</p> <p>4. Электростатика в в физике "мягких сред". Теория среднего поля.</p> <p>5. Двойной электрический слой. Модель Гуи-Чепмена. Электростатическое расклинивающее давление.</p> <p>6. Теория Дерягина-Ландау-Фервея-Овербека. Поверхностные силы и расклинивающее давление другой природы.</p> <p>7. Принципы измерения поверхностных сил. Атомно-силовая микроскопия.</p> <p>8. Устойчивость коллоидов и тонких пленок. Быстрая и медленная коагуляция. Динамическая коагуляция.</p>	Лекции, семинары
3	Электрокинетические и другие межфазные транспортные явления	<p>1. Линейные электрокинетические явления. Модель Гельмгольца. Дзета-потенциал.</p> <p>2. Плоскость скольжения. Электроосмос. Теория Смолуховского. Электрофорез.</p> <p>3. Электрокинетика в микро - и нанофлюидике. Современные направления.</p> <p>4. Электроосмос индуцированного заряда и</p>	Лекции, семинары.

		<p>другие нелинейные электрокинетические явления.</p> <p>5. Другие межфазные транспортные явления. Течения в тонких каналах. Гидрофобное проскальзывание.</p> <p>6. Гидродинамические течения вблизи гладких гидрофобных поверхностей и супергидрофобных текстур.</p> <p>7. Классические межфазные транспортные явления: капиллярный осмос, диффузиофорез, термоосмос и термофорез.</p> <p>8. Современные приложения. Методы исследований транспортных явлений в тонких каналах.</p>	
4	Мицеллы, эмульсии и пены	<p>1. Поверхностно-активные вещества. Классификация. Гидрофильный-липофильный баланс. Агрегация ПАВ.</p> <p>2. Мицеллы. Критическая концентрация мицеллообразования. Температура Крафта. Самосборка.</p> <p>3. Мыльные пленки. Пены. Структура и геометрия. Одномерные, двумерные и трехмерные пены.</p> <p>4. Принципы эмульгирования. Правило Банкрофта. Деградация эмульсий.</p> <p>5. Микроэмульсии и миниэмульсии. Классификация. Методы получения.</p> <p>6. Эмульсии в микрофлюидике. Современные приложения.</p>	Лекции, семинары.
5	Адгезия	<p>1. Классификация адгезионных явлений. Механический, термодинамический и скейлинговый подходы при их описании.</p> <p>2. Неадгезионный контакт. Теория Герца. Теория Буссинеска.</p> <p>3. Адгезионный контакт. Теория Дерягина-Муллера-Топорова. Теория Джонсона-Кендалла-Робертса. Пределы применимости. Переходная теория Можиса-Дюгдаля.</p> <p>4. Сложные эффекты и явления: адгезия пленок и вязко-упругих тел, волны Шалламаха, неустойчивость Тейлора-Саффмана.</p>	Лекции, семинары

5. Образовательные технологии

1. Активные образовательные технологии: лекции, семинары и практические работы.
2. Сопровождение лекций визуальным материалом в виде слайдов, проецируемых на экран с помощью видеопроектора.
3. 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:

Капиллярность и смачивание.

История возникновения и междисциплинарность науки о коллоидах и поверхностях. Классификация и примеры коллоидных объектов и систем, их особенности. Методы исследований и их эволюция. Традиционные приложения (флотация минералов, лаки и краски, пищевая и кожевенная промышленности, косметика, фармацевтика и др.). Современные приложения: микрофлюидика, нанобиомеханика, искусственные гекконы и др.

Поверхностная энергия жидкостей. Структура поверхностного слоя жидкости. Поверхностное и межфазное натяжение. Уравнение адсорбции Гиббса. Изотермы адсорбции. Поверхностное натяжение растворов

поверхностно-активных веществ и электролитов. Влияние температуры на поверхностное натяжение. Уравнение Лапласа. Гомогенная и гетерогенная нуклеация. Уравнение Кельвина. Капиллярность и гравитация. Капиллярная длина. Число Бонда.

Основные наблюдения и понятия. Неполное смачивание и контактный (краевой) угол. Полное смачивание. Параметр растекания. Переход смачивания. Закон Юнга. Жидкие линзы и конструкция Ноймана. Высокоэнергетические и низкоэнергетические поверхности. Критерий Зисмана. Способы изменения краевого угла (химическая и физическая модификация поверхностей, температура, электрический потенциал). Гидрофобные и гидрофильные поверхности. Лужи. Мениск жидкости. Капиллярный подъем и закон Джурина. Капиллярное притяжение. Эластокапиллярность. Методы измерения поверхностного натяжения.

Наступающий и отступающий краевой угол. Гистерезис контактного угла и пининг. Химическая неоднородность и шероховатость как причина гистерезиса. Следствия пининга и гистерезиса (эффект кофейных пятен и др.). Шероховатые поверхности. Методы изготовления шероховатых поверхностей. Беспорядочная, периодическая и фрактальная шероховатость. Комбинация шероховатости и гидрофобности: супергидрофобность. Эксперимент Деттре и Джонсона. Состояние и уравнение Венцеля. Эффект «лотоса», состояние и уравнение Касси. Периодические поверхностные текстуры. Подвижность капель на поверхностях Касси. Переход Касси-Венцель. Условие пропитки поверхностных текстур. «Жемчужные» капли.

Основы гидродинамики. Уравнения Навье-Стокса. Инерционные и вязкие эффекты. Число Рейнольдса. Граничные условия: три типа межфазных границ. Инерционные течения. Число Вебера. Осцилляции капель, разрыв мыльных пленок, инерционная пропитка. Вязкие течения. Теория смазки. Точные и скейлинговые решения одномерных задач гидродинамики: Уравнения Пуазейля и Дарси. Спонтанное смачивание. Капиллярная пропитка (закон Вашбурна). Капиллярное растекание (закон Таннера). Гравитационное растекание. Вынужденное смачивание. Капиллярное число. Динамический краевой угол. Нанесение покрытий: дип-котинг в капиллярном (модель Ландау-Левича-Дерягина) и гравитационном (модель Дерягина) режиме, спин-котинг.

Общие причины затухания и эволюции волнового движения. Капиллярные и гравитационные волны. Капиллярные неустойчивости (Рэлея-Плато). Неустойчивости из-за внешних сил: гравитационные (Рэлея-Тейлора) и др. Вязкие неустойчивости: неустойчивость Тейлора-Саффмана, размер капель

дождя. Неустойчивости течения из-за градиентов поверхностного натяжения (Марангони) и краевого угла. Тороидальные пузыри.

Пленки и прослойки и их устойчивость.

Смачивание и дальнедействующие силы. Изменение толщины пленки, энергия взаимодействия и расклинивающее давление. Методы измерения расклинивающего давления. Натяжение тонкой пленки. Типы пленок и их устойчивость. Проявления дальнедействующих сил в явлениях смачивания: структура трехфазного контакта, пленки на шероховатой поверхности

Аппроксимация Дерягина. Дисперсионное расклинивающее давление (ван-дер-Ваальса) между макроскопическими телами. Константа Гамакера. Электростатика в физике "мягких сред" и биологии. Примитивная модель электролита. Длина Бьерума. Теория среднего поля. Уравнение Пуассона-Больцмана. Длина Дебая (-Хюккеля). Двойной электрический слой. Модель Гуи-Чепмена. Длина Гуи-Чепмена. Двойной слой в присутствии соли: решение Пуассона-Больцмана и предел Дебая-Хюккеля. Контактная теорема (уравнение Грэма). Электростатическое расклинивающее давление. Связь с осмотическим давлением. Симметричный и асимметричный случай. Теория Дерягина-Ландау-Фервея-Овербека (ДЛФО). Поверхностные силы и расклинивающее давление не-ДЛФО природы: энтропийное отталкивание липидных бислоев, стерическое отталкивание и притяжение в полимерных жидкостях, гидрофобное притяжение, осциллирующие взаимодействия. Гидродинамические силы (задачи Тейлора и Рейнольдса). Принципы измерения поверхностных сил (равновесный и динамический методы, метод «захлопывания»). Аппарат для измерения поверхностных сил. Атомно-силовая микроскопия. Устойчивость коллоидов и тонких пленок. Быстрая и медленная коагуляция (теория Смолуховского). Динамическая коагуляция.

Электрокинетические и другие межфазные транспортные явления.

«Классические» линейные электрокинетические явления. Двойной слой как плоский конденсатор (модель Гельмгольца). Дзета-потенциал. Плоскость скольжения. Электроосмос (теория Смолуховского). Токи и потенциалы течения. Электрофорез. Электрокинетика в наноканалах. Современные направления. Электроосмос индуцированного заряда и другие нелинейные электрокинетические явления (диэлектрофорез, электрокинетика второго рода и т.д.).

Проблемы течения и перемешивания в каналах малой толщины. Гидрофобное скольжение. Гидродинамические течения вблизи гладких гидрофобных поверхностей и супергидрофобных текстур. Электрокинетические течения вблизи гидрофобных поверхностей. «Классические» межфазные транспортные явления: капиллярный осмос и

диффузиофорез, термоосмос и термофорез. Современные приложения. Методы исследований (микро-PIV, AFM/SFA, FCS).

Мицеллы, эмульсии и пены.

Поверхностно-активные вещества (ПАВ). Принципы действия и составляющие. Классификация. Гидрофильный-липофильный баланс (HLB). Практические свойства, ассоциированные с интервалом HLB. Агрегация ПАВ. Сферические мицеллы как простейшие самоорганизованные структуры. Критическая концентрация мицеллообразования (СМС). Факторы, определяющие форму мицелл: эллипсоидальные и цилиндрические агрегаты, везикулы, бислои, обратные мицеллы. Температура Крафта. Самосборка в присутствии блок-сополимеров. Весы Лангмюра. Растворимые и нерастворимые монослои. Агрегация на поверхности жидкость/газ. Мыльные пленки. Утоньшение. Черные пленки. Пены. Структура и геометрия. «Сухие» и «мокрые» пены. Изучение одномерных, двумерных и трехмерных пен.

Принципы эмульгирования («дробление» и «конденсация»). Правило Банкрофта. Эмульсии Пикеринга. Многократные эмульсии. Дегградация эмульсий (сепарация фаз, эффект Оствальда, агрегация, инверсия фаз). Микроэмульсии и миниэмульсии, связь с размером капель. Термодинамическая устойчивость и самоорганизованные структуры в микроэмульсиях. Классификация Винзора. Приготовление миниэмульсий. Миниэмульсии как нанореакторы (синтез наночастиц, реакции полимеризации, биохимические реакции). Эмульсии в (цифровой) микрофлюидике. Принципы приготовления эмульсий, управление коалесценцией, размером капель и перемешиванием в микроканалах. Приложения (непрерывный синтез микрочастиц, химическая стимуляция и регистрация, капсулирование клеток, «капли на чипе»).

Адгезия.

Разнообразие явлений адгезии: адгезия льда, клеток, гекконов, эластокапиллярность. Контакт упругих макроскопических тел. Механический, термодинамический и скейлинговый подходы. Неадгезионный контакт: теория Герца, теория Буссинеска. Адгезионный контакт: теория Дерягина-Муллера-Топорова (DMT), теория Джонсона-Кендалла-Робертса (JKR). Пределы применимости моделей DMT и JKR, переходная теория Можиса-Дюгдаля (MD). Сложные эффекты и явления: адгезия пленок и вязко-упругих тел, волны Шалламаха, неустойчивость Тейлора-Саффмана.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. P.-G. de Gennes, F. Brochard-Wyart, D. Quere, Capillarity and Wetting Phenomena: Drops, Bubbles, Pearls, Waves, New York: Springer, 2004
2. D.F. Evans, H. Wennerström, The Colloidal Domain: Where Physics, Chemistry, Biology, and Technology Meet (Advances in Interfacial Engineering), New York, Wiley-VCH, 1999
3. Д.Н. Израелашвили, Межмолекулярные и поверхностные силы (пер. с англ.), Москва, Научный мир, 2011
4. R. J. Hunter, Foundations of Colloid Science, 2nd ed., New York: Oxford University Press, 2000
5. D. Maugis, Contact, Adhesion, and Rupture of Elastic Solids, 2000

б) дополнительная литература:

6. Е.Д. Щукин, А.В. Перцов, Е.А. Амелина, Коллоидная химия, Москва: Высшая школа, 2007
7. Ю.Г. Фролов, Курс коллоидной химии: поверхностные явления и коллоидные системы, Москва: Химия, 1988
8. D. Bonn, E. Eggers, J. Indekeu, J. Meunier, E. Rolley, Wetting and Spreading, Rev. Mod. Phys., 81, 739, 2009
9. P.G. de Gennes, Wetting: Statics and Dynamics, Rev. Mod. Phys., 57, 827, 1985
10. D. Quere, Non-sticking drops, Rep. Progr. Phys., 68, 2495, 2005
11. D. Quere, Wetting and Roughness, Annu. Rev. Mater. Res., 38, 71, 2008
12. E. B. Dussan, The moving contact line: the slip boundary condition, J. Fluid. Mech., 77, 665, 1976
13. A. Oron, S. H. Davis, S. G. Bankoff, Long-scale evolution of thin films, Rev. Mod. Phys., 69, 931, 1997
14. J. M. Davis, B. J. Fischer, S. M. Torian, A general approach to the linear stability of thin films, in Interfacial Fluid Dynamics and Transport properties, eds. R. Narayanan and D. Schwabe, Lecture Notes in Physics Series, Berlin: Springer-Verlag, 2003, pp. 79-105
15. J. L. Anderson, Colloidal transport by interfacial forces, Annu. Rev. Fluid Mech., 21, 1989
16. J. Lyklema, Fundamental of Colloid in Interface Science, Vol 2.
17. С.С. Духин, Б.В. Дерягин, Электрофорез, Москва: Наука, 1976
18. В.Г. Левич, Физико-химическая гидродинамика, Москва: ГИФМЛ, 1958
19. E. Lauga, M. Brenner, H. A. Stone, Microfluidics: The No-Slip Boundary Condition, in Handbook of Experimental Fluid Dynamics, 2007
20. T. M. Squires, S. R. Quake, Microfluidics: Fluid Physics at the Nanometer Scale, Rev. Mod. Phys., 77, 977, 2005
21. H. A. Stone, A. Strook, A. Ajdari, Engineering Flows in Small Devices, Annu. Rev. Fluid Mech., 36, 2004, 381-411

22. K.L. Mysels, K. Shinoda, S. Frankel, Soap Films: Studies of Their Thinning and a Bibliography, New York: Pergamon, 1959
23. D. Langevin, Micelles and Microemulsions, Annu. Rev. Phys. Chem., 43, 1992, 341-369
24. C. Tanford, The Hydrophobic Effect. Formation of Micelles and Biological Membranes, New York: John Wiley & Sons, 1980
25. K. Landfester, Synthesis of Colloidal Particles in Microemulsions, Annu. Rev. Mater. Res., 36, 2006, 31-79
26. E. Barthel, Adhesive Elastic Contacts - JKR and more, J. Phys. D: Appl. Phys., 41, 163001, 2008

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

Интернет-ресурсы: Сайт лаборатории физико-химии модифицированных поверхностей ИФХЭ им. А. Н. Фрумкина РАН и Микро- и нанофлюидики Физического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова <http://nanofluidics.phys.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.

Лаборатории ИФХЭ РАН оснащены мощными компьютерами с современным программным обеспечением, позволяющим производить теоретические расчеты и выполнять задачи по моделированию физико-химических процессов, связанных с коллоидными системами. Инструментальная база НОК основана на центре коллективного пользования физическими методами исследования ИФХЭ РАН. В ее составе имеются приборы для измерения краевых углов, поверхностного натяжения капиллярных эффектов, сканирующий зондовый микроскоп Solver P47 PRO, атомно-силовой микроскоп – спектрометр Force Master 402 MD, рентгено-флюороресцентный микроанализатор VRA-30 и многие другие приборы, позволяющие решить практически любую задачу физико-химического исследования. Лаборатории оснащены современными приборами для синтеза и анализа коллоидных систем: стеклопосуда в широком ассортименте,

реакторы низкого и высокого давления, автоклавы, газовые и жидкостные хроматографы, адсорбционные установки.

Программа составлена в соответствии с требованиями приказа Минобрнауки России от 16.03.2011 № 1365 «Федеральные государственные требования к структуре основной профессиональной образовательной программы послевузовского профессионального образования (аспирантура)» лабораторией физикохимии модифицированных поверхностей.

Программа рассмотрена и утверждена секцией Ученого Совета ИФХЭ РАН «Физикохимия нано- и супрамолекулярных систем» (протокол №3 от 10 сентября 2011 г.)