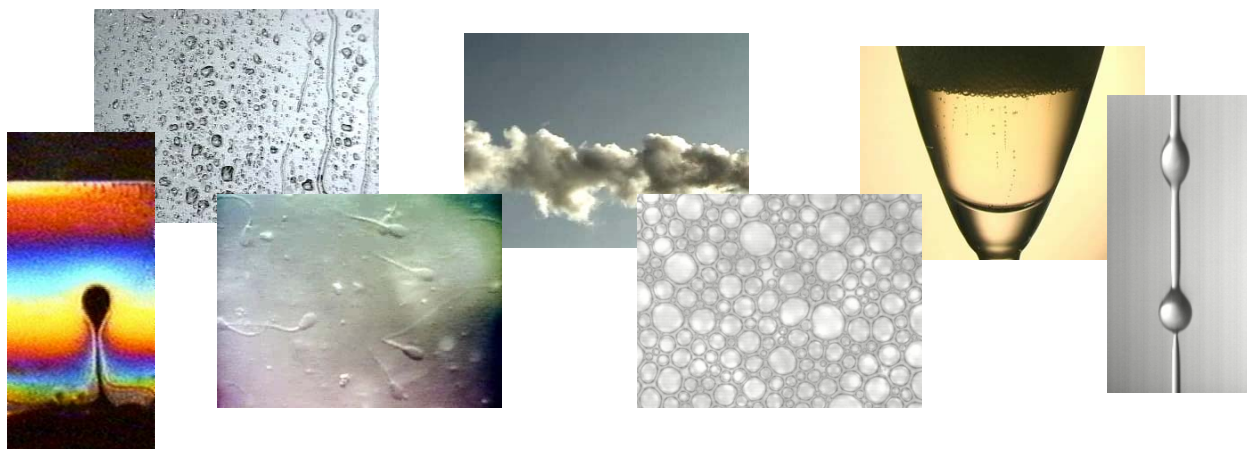


# Обязательный курс «КОЛЛОИДНЫЕ СИСТЕМЫ»

36 час

Составитель: проф., д.ф.м.н. О.И.Виноградова, Химический факультет МГУ и ИФХЭ РАН



## АННОТАЦИЯ

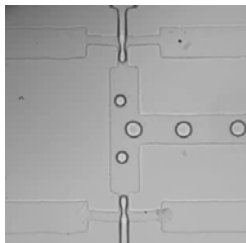
Наука о коллоидах и поверхностях (Colloid and Interface Science в англоязычной литературе) изучает микро- и наногетерогенные системы, в которых взаимодействия между фазами и/или явления на межфазной границе являются доминирующим аспектом поведения. Коллоидными системами является большинство окружающих нас объектов, от агропочв, пищевых продуктов, косметики и лекарств, до биологических клеток. Цель курса – дать междисциплинарное представление об основных явлениях, определяющих поведение таких систем и лежащих в основе современных нанотехнологических приложений. В курс включены разделы, посвящённые термодинамике поверхности, капиллярности и смачиванию, гидродинамике тонких плёнок, межфазным транспортным явлениям, поверхностным силам, устойчивости коллоидов и тонких плёнок, мицеллам, эмульсиям и пенам, адгезии. Курс состоит из вводной лекции и нескольких тематических блоков.

## Основная литература

1. The Colloidal Domain: Where Physics, Chemistry, Biology, and Technology Meet (Advances in Interfacial Engineering) by D. Fennell Evans, Håkan Wennerström
2. Intermolecular and Surface Forces, Second Edition: With Applications to Colloidal and Biological Systems (Colloid Science) by Jacob N. Israelachvili
3. Foundations of Colloid Science. 2nd ed.; Oxford University Press: Oxford, by Robert J. Hunter

# ПРОГРАММА КУРСА

## Лекция 1. Введение (2 часа)



История возникновения науки о коллоидах и поверхностях. Междисциплинарность. 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.

## Блок 1: Капиллярность и смачивание (5 лекций).

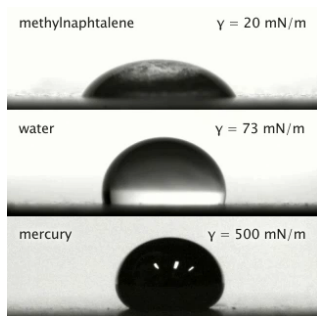
### Лекция 2. Поверхностное натяжение (3 часа)



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.

### Лекция 3. Смачивание. Статика (3 часа)



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. Луи. Мениск жидкости. Капиллярный подъём и закон Дзюрина. Капиллярное притяжение. Эластокапиллярность. Методы измерения

поверхностного натяжения.

#### Лекция 4. Реальные поверхности (2 часа)



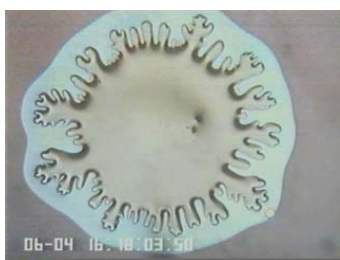
Наступающий и отступающий краевой угол. Гистерезис контактного угла и pinning. Химическая неоднородность и шероховатость как причина гистерезиса. Следствия pinning и гистерезиса (stick-slip, эффект кофейных пятен и др.). Шероховатые поверхности. Методы изготовления. Беспорядочная, периодическая и фрактальная 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.

#### Лекция 5. Межфазная гидродинамика (4 часа)



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 плёнок, 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: dip coating в капиллярном (модель Ландау-Левича-Дерягина) и гравитационном (модель Дерягина) режиме, spin coating.

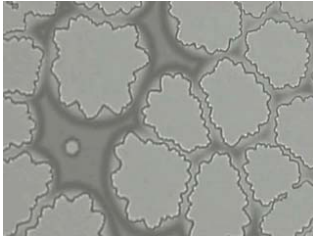
#### Лекция 6. Межфазные неустойчивости (3 часа)



Общие причины затухания и эволюции волнового движения. Капиллярные и гравитационные волны. Капиллярные неустойчивости (Рэля-Плато). Неустойчивости из-за внешних сил: гравитационные (Рэля-Тейлора) и др. Вязкие неустойчивости: вязкие «пальцы» (Тейлора-Саффмана), размер капель дождя. Неустойчивости течения/движения из-за градиентов поверхностного натяжения (Марангони) и краевого угла. Торoidalные пузыри.

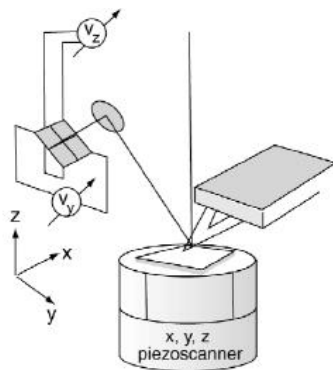
## Блок 2: Плёнки и прослойки. Устойчивость (2 лекции)

### Лекция 7. Поверхностные силы, расклинивающее давление и смачивание (3 часа)



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

### Лекция 8. Типы поверхностных сил и их измерение. Устойчивость коллоидов и тонких плёнок (4 часа)

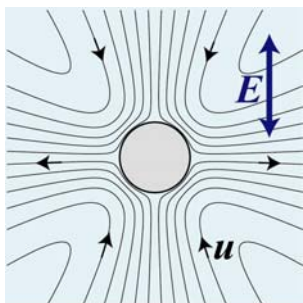


Аппроксимация Дерягина. Дисперсионное расклинивающее давление (ван-дер-Ваальса) между макроскопическими телами. Константа Гамакера. Электростатика в soft matter и биологии. Примитивная модель электролита. Длина Бьерума. Теория среднего поля. Уравнение Пуассона-Больцмана. Длина Дебая (-Хюккеля). Двойной электрический слой. Модель «только противоионы» 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 бислоёв, стерическое отталкивание и depletion 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 (SFA). Атомно-силовая микроскопия (AFM). Устойчивость коллоидов и тонких плёнок. Быстрая и медленная коагуляция (теория Смолуховского). Динамическая коагуляция.

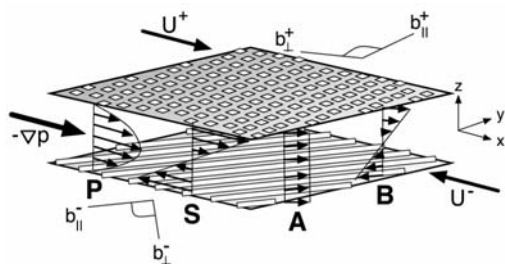
### Блок 3: Электрокинетические (и другие межфазные транспортные) явления (2 лекции).

#### Лекция 9. Электрокинетические явления (3 часа)



«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.).

#### Лекция 10. Другие межфазные транспортные явления (2 часа)

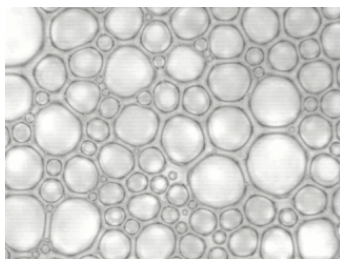


Проблемы течения и перемешивания в каналах малой толщины. Гидрофобное скольжение. Гидродинамические течения вблизи гладких гидрофобных поверхностей и супергидрофобных текстур. Электрокинетические течения вблизи гидрофобных поверхностей. «Классические» межфазные транспортные явления: капиллярный осмос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

Современные приложения. Методы исследований (микро-PIV, AFM/SFA, FCS).

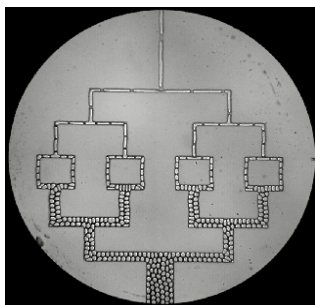
### Блок 4. Мицеллы, эмульсии и пены (2 лекции)

#### Лекция 11. Поверхностно-активные вещества. Мицеллы, мыльные плёнки и пены (3 часа)



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 плёнки. Утонышение. Чёрные плёнки. Пены. Структура и геометрия. Plateau border. «Сухие» и «мокрые» пены. Изучение одномерных, двумерных и трёхмерных пен.

## Лекция 12. Эмульсии (2 часа)



Принципы эмульгирования («дробление» и «конденсация»). Правило Банкрофта. Эмульсии Пикеринга. Многократные эмульсии. Деграция 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»)

## Блок 5: Адгезия (1 лекция).

### Лекция 13. Адгезия (2 часа)



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 плёнок и вязко-упругих тел, волны Шалламаха, неустойчивость Тейлора-Саффмана.