



МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет)»  
(СПбГТИ(ТУ))

УТВЕРЖДАЮ

Ректор

*М.А. Шенников* А.П. Шенников  
« 29 » 2022 г.



## Программа кандидатского экзамена

### 1.4.10 «Коллоидная химия»

Санкт-Петербург  
2022

Настоящая программа кандидатского экзамена разработана для научной специальности **1.4.10 Коллоидная химия**.

Экзаменуемый должен показать высокий уровень теоретической и профессиональной подготовки, знание общих концепций и методологических вопросов научной специальности, истории ее формирования и развития, глубокое понимание основных разделов теории и практики изученного материала, а также умение применять свои знания для решения исследовательских и прикладных задач.

Настоящая программа составлена на кафедре физической химии Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета) в соответствии с требованиями, предъявляемыми к уровню владения теоретическим материалом, терминологической подготовленности и степени освоения дисциплины коллоидная химия.

## **1. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА**

Проведение кандидатского экзамена осуществляется в форме открытого заседания экзаменационной комиссии. Кандидатский экзамен проводится в устной форме.

Аспиранты с ограниченными возможностями здоровья могут сдавать данный экзамен, как в устной форме, так и в письменной форме.

Экзаменационные билеты должны включать два вопроса из программы кандидатского экзамена по специальности и один вопрос из дополнительной программы, которая составляется аспирантом (соискателем) совместно с научным руководителем в соответствии с темой диссертационной работы соискателя и рассматривается на заседании кафедры.

Для подготовки к ответу аспиранту отводится не более 60 минут, а на ответ – не более 30 минут. При ответе на вопросы экзаменационного билета члены экзаменационной комиссии могут задавать дополнительные вопросы аспиранту только в рамках содержания вопросов экзаменационного билета.

Во время заседания экзаменационной комиссии ведётся протокол в соответствии с установленным образцом.

Решение экзаменационной комиссии принимается на закрытом заседании простым большинством голосов членов комиссии. Уровень знаний оценивается на "отлично", "хорошо", "удовлетворительно", "неудовлетворительно".

Результаты экзамена оформляются протоколом и объявляются всем аспирантам группы в тот же день после завершения сдачи кандидатского экзамена.

Все прочие необходимые условия приема кандидатского экзамена изложены в нормативных документах (локальных актах) СПбГТИ(ТУ).

## **2. ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА**

### **2.1 Определение, основные понятия коллоидной химии**

Коллоидная химия - наука о дисперсных системах и поверхностных явлениях. Признаки объектов коллоидной химии: гетерогенность и дисперсность. Количественные характеристики дисперсности: размер частиц, удельная поверхность, дисперсность. Классификация дисперсных систем по агрегатному состоянию и полярности фаз, устойчивости и структурному состоянию.

Роль поверхностных явлений и дисперсных систем в природе и химической технологии.

## 2.2 Термодинамика поверхностных явлений

Основы термодинамики поверхностного слоя. Основные отличия свойств поверхностного слоя от свойств объемных фаз. Способы описания поверхностных явлений. Метод избыточных величин Гиббса. Избыточные термодинамические функции – поверхностное натяжение и адсорбция. Разделяющая поверхность и поверхность разрыва. Поверхностная энергия в обобщенном уравнении I и II начал термодинамики. Уравнение Гиббса-Дюгема, уравнение изотермы адсорбции Гиббса. Природа поверхностного натяжения, формула Баккера.

Поверхностное натяжение и адсорбция. Определение адсорбции. Изотерма, изопикна, изобара, изостера адсорбции. Частное выражение уравнения Гиббса. Поверхностная активность веществ. Поверхностно-активные, поверхностно-инактивные вещества.

Межфазное натяжение. Адгезия, смачивание и растекание жидкостей. Адгезия и когезия. Природа сил взаимодействия при адгезии. Адгезионное соединение и его характеристики. Механизмы процессов адгезии. 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 смачивания. Влияние ПАВ, температуры и шероховатости поверхности на смачивание. Условия растекания жидкостей. Межфазное натяжение на границе между взаимно-насыщенными жидкостями и правило Антонова. Избирательное смачивание. Практическое значение адгезии и смачивания. Флотация.

Дисперсность и термодинамические свойства тел. Дисперсность как термодинамический параметр. Влияние кривизны поверхности на внутреннее давление тел (уравнение Лапласа). Поверхностная энергия и равновесные формы тел. Принцип Гиббса-Кюри. Закон Вульфа. Капиллярные явления, их роль в природе и технологии. Капиллярный метод определения поверхностного натяжения (формула Жюрена). Зависимость термодинамической реакционной способности от дисперсности. Уравнение капиллярной конденсации Кельвина. Влияние дисперсности на растворимость, константу равновесия химической реакции, температуру фазового перехода. Изотермическая перегонка.

## 2.3 Адсорбция газов и паров на поверхности твердых тел

Природа адсорбционных сил. Физическая адсорбция, хемосорбция и ионообменная адсорбция. Отличия физической адсорбции от хемосорбции. Природа адсорбционных сил при физической адсорбции. 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 Генри, модель и уравнение Ленгмюра. Определение констант уравнения. Полимолекулярная адсорбция. Уравнение БЭТ и определение удельной поверхности методом БЭТ. Потенциальная теория Поляни. Адсорбционный потенциал. Характеристическая кривая адсорбции.

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.

Капиллярная конденсация. Капиллярно-конденсационный гистерезис. Капиллярное давление, ртутная порометрия. Расчет интегральной и дифференциальной кривых распределения объема пор по размерам.

## 2.4 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 (формула Шишковского). Отличия адсорбции на поверхности жидкостей и твердых тел.

Поверхностные пленки нерастворимых веществ. Определение строения адсорбционного слоя и размеров молекул ПАВ. Весы Ленгмюра. Уравнения состояния газообразных поверхностных (адсорбционных) пленок и причины уменьшения поверхностного натяжения растворов ПАВ. Связь с формулой Баккера. Факторы, определяющие агрегатное состояние адсорбционных пленок. Химические реакции в поверхностных пленках. Пленки высокомолекулярных и белковых веществ. Методы получения пленок Ленгмюра-Блоджетт (ЛБ-пленки). Применение ЛБ-пленок в биологии и технике.

## 2.5 Электро-поверхностные свойства дисперсных систем

Образование и строение двойного электрического слоя (ДЭС).

Общие представления о теориях строения ДЭС. Уравнение Пуассона-Больцмана для диффузной части ДЭС и его решение. Уравнение Гуи-Чепмена. Толщина диффузного слоя и влияние на нее различных факторов. Емкость ДЭС. Двойной электрический слой по теории Штерна, его недостатки, корректная форма и численное решение. Формула Нернста. Перезарядка поверхности. Примеры образования ДЭС.

Экспериментальные методы исследования ДЭС. Электрокинетические и электрокапиллярные явления. Соотношения между электрическим потенциалом и поверхностным натяжением (уравнения Липпмана). Электрокапиллярные кривые и определение параметров ДЭС по этим кривым. Уравнение электрокапиллярной кривой. Электрокинетический потенциал и влияние на него различных факторов. Уравнение Гельмгольца-Смолуховского для электроосмоса и электрофореза. Эффекты, не учитываемые этим уравнением (поверхностная проводимость, электрофоретическое торможение, релаксационный эффект). Уравнение Хюкеля-Онзагера, уравнение Генри. Практическое использование электрокинетических явлений.

## 2.6 Молекулярно-кинетические свойства дисперсных систем

Сопоставимость интенсивностей регулярного и хаотичного движение частиц коллоидных систем. Седиментация, формула Стокса. Седиментационный анализ полидисперсных систем. Распределения частиц по их размерам. Седиментация в

центробежном поле. Равновесное ультрацентрифугирование как абсолютный метод определения массы макромолекул/частиц.

Броуновское движение и его макроскопические проявления. Диффузия, закон Фика, коэффициентом диффузии и среднеквадратичный сдвиг частиц (формула Эйнштейна-Смолуховского). Осмотическое давление ультрамикроретерогенных систем.

Седиментационно-диффузионное равновесие, закон Больцмана и его логарифмическая форма (гипсометрический закон), не требующая знания предэкспоненты. Высота столба взвеси, как необходимый параметр нормирования распределения Больцмана и определения численного значения предэкспоненты. Условие образования осадка, закон распределения частиц по высоте при наличии осадка, доля дисперсной фазы в осадке и взвеси.

## **2.7 Оптические свойства и методы исследования дисперсных систем**

Явления, наблюдающиеся при распространении света в дисперсных системах. Поглощение и рассеяние света. Универсальность рассеяния и его физическая сущность. Формула Рэлея. Рассеяние малыми частицами поляризованного и неполяризованного света. Индикатрисы рассеяния поляризованного и неполяризованного света малыми и большими частицами. Причины угловой асимметрии рассеяния. Определение молекулярных масс высокомолекулярных соединений. Турбидиметрия и нефелометрия. Определение размеров частиц, не подчиняющихся уравнению Рэлея (уравнение Геллера). Уравнение Дебая для определения молекулярных и мицеллярных масс. Квазиупругое (динамическое) светорассеяние, фотон-корреляционная спектроскопия как метод определения размеров частиц.

Микроскопические методы определения дисперсного состава. Оптическая микроскопия. Классификация оптических микроскопов. Основные методы исследования. Метод светлого и темного поля. Поляризация. Метод фазового контраста. Флуоресцентная микроскопия. Методика микроскопического анализа.

Просвечивающая электронная микроскопия. Принцип работы просвечивающего электронного микроскопа. Метод темного и светлого поля. Методика проведения анализа. Сканирующая электронная микроскопия. Принцип работы сканирующего электронного микроскопа. Методика проведения анализа.

Сканирующая зондовая микроскопия. Основы метода. Преимущества и ограничения. Сканирующая туннельная микроскопия. Принцип работы сканирующего туннельного микроскопа. Различные режимы работы микроскопа. Методика проведения анализа. Атомно-силовая микроскопия. Принцип работы атомно-силового микроскопа. Различные режимы работы микроскопа.

## **2.8 Получение, агрегативная устойчивость и коагуляция дисперсных систем**

Общие вопросы устойчивости дисперсных систем. Седиментационная и агрегативная устойчивости систем. Лиофильные и лиофобные системы. Критерий лиофильности систем по Ребиндеру-Щукину. Растворы коллоидных ПАВ и полимеров как лиофильные системы. Процессы в дисперсных системах, обусловленные агрегативной неустойчивостью: изотермическая перегонка, коалесценция, коагуляция.

Получение лиофобных дисперсных систем. Методы диспергирования. Уравнение Ребиндера для работы диспергирования. Физико-химическое диспергирование осадков (пептизация). Гомогенная и гетерогенная конденсация. Метастабильное состояние. Свободная энергия образования зародыша новой фазы, критический радиус зародыша. Две стадии образования новой фазы (теория Гиббса-Фольмера) - нуклеация (зародышеобразование) и рост частиц. Связь кинетики образования новой фазы с

пересыщением. Управление дисперсностью при гомогенной конденсации. Примеры получения дисперсных систем методами физической и химической конденсации.

Кинетика коагуляции лиофобных систем. Быстрая и медленная коагуляция. Кинетика коагуляции по Смолуховскому. Уравнение для скорости коагуляции, константа скорости и время половинной коагуляции. Зависимость числа частиц разного порядка от времени, не превышающем время половинной коагуляции. Специфика коагуляции концентрированных дисперсных систем и при больших временах от начала процесса. Зависимость константы скорости от времени. Связь порядка (числа частиц в одной флоккуле коагулята) и размера флоккул. Фрактальная размерность флоккул. Конечное состояние коагулирующей взвеси. Структурирование и расслоение.

Агрегативная устойчивость лиофобных систем. Факторы устойчивости лиофобных систем. Основные положения теории ДЛФО. Расклинивающее давление и его составляющие: молекулярная, электростатическая, структурная. Энергия взаимодействия сферических частиц, переход Дерягина. Энергия электростатического отталкивания и молекулярного притяжения частиц. Потенциальные кривые взаимодействия частиц, потенциальный барьер и его зависимость от состава раствора. Коагуляция в первичном и вторичном минимумах. Основные направления развития расширенного варианта теории ДЛФО. Смещение плоскости локализации поверхностного заряда, как следствие его локализации не в виртуальной плоскости раздела фаз, а на поверхностном слое. Исключение возможности необратимой коагуляции электролитами.

Электролитная коагуляция; нейтрализационная и концентрационная коагуляции. Порог коагуляции. Пептизация коагулятов. Влияние на порог коагуляции заряда ионов электролита. Правило Эйлера-Корфа. Правило Шульце-Гарди (закон Дерягина).

Структурно-механический барьер по Ребиндеру и энтропийная составляющая расклинивающего давления адсорбционных слоев ПАВ и полимеров. Лиофилизация поверхности частиц дисперсной фазы (смачиваемость, исключение необратимой коагуляции).

Особенности дисперсных систем, стабилизированных ВМС и ПАВ.

Методы очистки промышленных суспензий, основанные на изменении агрегативной и седиментационной устойчивости дисперсных систем.

Системы с жидкой дисперсионной средой. Лиозоли, жидкие кристаллы, суспензии. Стабилизация и коагуляция золь и суспензий в водных и органических средах. Золь-гель переход как способ получения новых материалов. Осаждение, фильтрация суспензий и использование коагулянтов, флокулянтов и ПАВ. Технические суспензии и пасты минеральных и органических веществ.

Эмульсии, их классификация. Стабилизация эмульсий ПАВ, ВМС и порошками. Обращение фаз эмульсий. Определение типа эмульсий. Разрушение эмульсий. Дезэмульгаторы. Микроэмульсии. Эмульсии в природе, технике и химической технологии.

Пены, их стабилизация и разрушение. Тонкие пленки (серые, черные). Поверхностное натяжение тонких пленок. Эффекты Гиббса и Марангони-Гиббса.

Системы с газообразной дисперсионной средой. Аэрозоли: дымы, пыли, туманы. Образование, свойства и способы разрушения аэрозолей. Факторы стабилизации аэрозолей. Физические основы улавливания аэрозолей на фильтрах. Порошки, их текучесть, склонность к коагуляции. Физико-химические основы переработки порошков.

Системы с твердой дисперсионной средой. Факторы стабилизации в системах с твердой дисперсионной средой. Высокопористые материалы - адсорбенты и катализаторы. Пенопласты, пенобетон, пеностекло. Наполненные и закристаллизованные стекла и эмали. Наполненные полимеры, композиционные материалы. Металлические сплавы.

## 2.9 Поверхностно-активные вещества

Общая характеристика и классификация ПАВ. Мицеллообразование в растворах ПАВ. Критическая концентрация мицеллообразования (ККМ). Точка Крафта. Энтропийная природа мицеллообразования в водной среде. Водные растворы ПАВ как лиофильные системы. Факторы, влияющие на критическую концентрацию мицеллообразования (ККМ). Методы определения ККМ. Гидрофильно-липофильный баланс (ГЛБ), гидрофильно-олеофильное соотношение и их определения. Образование мицелл в неводной среде (обратных мицелл). Природа сил при мицеллообразовании в углеводородной среде. Термодинамика мицеллообразования. Квазихимический и псевдофазный подходы. Два уровня ассоциации. Солюбилизация. Основные факторы мощного действия в водной и неводной средах. Смеси ИПАВ и НПАВ. Биоразлагаемость и токсичность ПАВ.

Строение и полиморфные превращения мицелл. Классификация жидкокристаллического состояния. Фазовые переходы в жидкокристаллических системах. Лиотропные жидкие кристаллы. Мембраноподобные системы (везикулы). Мицеллярный катализ.

## **2.10 Растворы высокомолекулярных соединений**

Фазовые диаграммы растворов полимеров. Термодинамический критерий деления растворов на разбавленные и концентрированные.

Конформационное состояние макромолекул. Размеры и форма макромолекул в растворе. Свойства гауссова клубка. Термодинамика набухания и растворения полимеров. Межмолекулярные и внутримолекулярные взаимодействия в растворах полимеров. Свойства разбавленных растворов полимеров. Осмотическое давление. Термодинамическое сродство полимеров к растворителю и его критерии. Температура Флори. Концентрированные растворы полимеров. Применение правила фаз Гиббса к растворам полимеров. Растворы полиэлектролитов и их коллоидно-химические свойства. Белковые системы, комплексы полиэлектролитов и ПАВ.

## **2.11 Структура дисперсных систем и их структурно-механические свойства**

Структура дисперсных систем. Условие фиксации взаимного положения частиц дисперсной системы, ограничение их поступательной и вращательной подвижности. Параметры, количественно характеризующие структурное состояние системы. Статическая и динамическая структура, уравнения структурного состояния. Коагуляционное структурирование, условие завершения процесса коагуляции структурированием. Влияние концентрации дисперсной фазы и фрактальной размерности флокул коагулята. Типы и прочность контактов между частицами в структурированных дисперсных системах. Влияние дисперсионной среды, ПАВ и электролитов на силы сцепления в контактах. Реакция на механическое воздействие. Тиксотропное и необратимое структурирование.

Структура концентрированных агрегативно устойчивых систем. Дилатансия.

Жидкокристаллическое состояние агрегативно-устойчивых дисперсных систем с анизотропными частицами.

Реология дисперсных систем. Классификация основных типов материалов по деформационным свойствам, способности обладать формой, размером, объемом. Твердые, жидкие, газообразные среды. Параметры, описывающие их реакцию на механическое воздействие, деформация, течение, скорость деформации, напряжение. Их взаимосвязь, реологические уравнения. Фундаментальные уравнения механики однородных сплошных сред (Гука, Ньютона, Клайперона-Менделеева) и определение количественных мер, характеризующих их реологические свойства: вязкость, упругость, сжимаемость.

Гетерогенные дисперсные материалы. Ньютоновы и неньютоновы жидкости, степенной закон и нарушение размерности. Пластичные твердые и текуче материалы, вязкоупругость твердых и жидких дисперсных систем. Их механические модели и реологические уравнения. Уравнение Шведов-Бингама, предельное напряжение сдвига. Внутренние (упругие, вязкие) и внешние, не входящие в фундаментальные уравнения силы трения сопротивления деформированию. Реологические уравнения вязко упругой твердой и жидкой среды. Время релаксации напряжения и деформации.

Микроструктурные модели ньютоновых неньютоновых дисперсных. Формула Эйнштейна и уравнение Шлиомиса. Вращательная вязкость. Цепочечная модель, уравнение пластической деформации, динамическое предельное напряжения сдвига. Фрактальная модель, уравнение нелинейно пластического течения. Модель послойного скольжения, течение без разрушения структуры, плато напряжений, осцилляции напряжения, гистерезис. Модель Френкеля-Эйринга, ее применение в теории предельно концентрированных, агрегативно устойчивых дисперсных систем. Уравнение дилатантного течения.

Эффект Ребиндера. Связь прочности с поверхностным натяжением (уравнение Гриффитса). Адсорбционное влияние среды на пластичность и прочность твердых тел и материалов. Адсорбционное понижение прочности. Эффект Ребиндера; основные факторы, определяющие форму и интенсивность его проявления; роль эффекта Ребиндера в геологических процессах, использование в технике.

## **2.12 Явления переноса в пористых телах и мембранные методы разделения смесей**

Классификация мембран и мембранных методов. Принципы получения мембран и их характеристики. Мембранные равновесия. Уравнения Доннана. Мембранные потенциалы.

Течение жидкостей и газов в пористых телах. Закон Дарси и коэффициент проницаемости, уравнение Гагена-Пуазейля. Кнудсеновский поток и разделение газов. Диализ и электродиализ. Микрофильтрация, ультрафильтрация и обратный осмос. Проницаемость и селективность, концентрационная поляризация. Применение мембранных методов.

## **2.13 Коллоидная химия и охрана окружающей среды**

Коагуляционные методы очистки природных и сточных вод. Перикинетическая, ортокинетическая коагуляция, гетерокоагуляция. Коагуляция порошками. Электрохимическая коагуляция. Флокуляционные методы очистки. Пенная сепарация Флотация, микрофлотация. Адсорбционные методы очистки сточных вод от органических веществ. Баромембранные методы очистки. Способы осаждения аэрозолей.

## **3. Примерный перечень экзаменационных вопросов**

1. Поверхностное и межфазное натяжение: термодинамическое определение, физический смысл, влияние природы взаимодействующих фаз. Уравнение Гиббса-Гельмгольца. Зависимость термодинамических параметров поверхностного слоя от температуры.
2. Адсорбция. Понятие об абсолютной и гиббсовской адсорбции. Метод избытков Гиббса. Фундаментальное адсорбционного уравнения Гиббса и его анализ. Поверхностная активность; поверхностно-активные и поверхностно-инактивные вещества.



3. Адгезия, смачивание и растекание. Уравнение Дюпре для работы адгезии. Угол смачивания и уравнение Юнга. Уравнение Дюпре-Юнга для работы адгезии. Влияние ПАВ на адгезию и смачивание. Растекание, коэффициент растекания по Гаркинсу.
4. Правило фаз Гиббса и дисперсность. Влияние кривизны поверхности (дисперсности) на внутреннее давление тел. Капиллярные явления.
5. Влияние дисперсности на термодинамическую реакционную способность. Уравнение капиллярной конденсации Кельвина и его анализ. Влияние дисперсности на растворимость, температуру фазового перехода и константу равновесия химической реакции.
6. Методы получения дисперсных систем: диспергирование и конденсация. Уравнение Ребиндера для работы диспергирования. Адсорбционное понижение прочности (эффект Ребиндера). Конденсация физическая и химическая. Энергия Гиббса образования зародыша новой фазы при гомогенной конденсации; роль пересыщения.
7. Классификация механизмов адсорбции. Природа адсорбционных сил и их особенности при физической адсорбции. Изотерма, изостера, изопикна адсорбции. Энергия взаимодействия атома адсорбата с поверхностью адсорбента.
8. Мономолекулярная адсорбция. Уравнение Генри. Теория мономолекулярной адсорбции Ленгмюра. Анализ изотермы адсорбции.
9. Теория полимолекулярной адсорбции БЭТ: исходные положения, вывод уравнения изотермы и его анализ. Определение удельной поверхности адсорбентов, катализаторов и др.
10. Количественные характеристики пористых материалов: пористость, удельная поверхность, размер пор. Пористые тела корпускулярной, кристаллической и губчатой структуры, методы их получения. Классификация пор по Дубинину и теории физической адсорбции.
11. Адсорбция на пористых адсорбентах. Теория капиллярной конденсации. Капиллярно-конденсационный гистерезис. Расчет и назначение интегральной и дифференциальной кривых распределения объема пор по их размерам.
12. Потенциальная теория адсорбции Поляни. Адсорбционный потенциал. Характеристическая кривая адсорбции. Температурная инвариантность и аффинность характеристических кривых.
13. Особенности адсорбции на микропористых адсорбентах. Обобщенное уравнение теории Дубинина (теория объемного заполнения микропор), частные случаи этого уравнения (уравнение Дубинина-Радушкевича). Расчет общего объема микропор по изотерме адсорбции.
14. Особенности адсорбции ПАВ на границе раздела раствор-воздух. Влияние строения молекул ПАВ на поверхностную активность (правило Дюкло - Траубе). Зависимость поверхностного натяжения растворов от концентрации ПАВ при соблюдении закона Генри и уравнения Ленгмюра.
15. Поверхностное давление адсорбционной пленки ПАВ. Уравнения состояния двумерного газа для адсорбционной пленки; различные агрегатные состояния адсорбционных пленок. Весы Ленгмюра и определение размеров молекул ПАВ.
16. Седиментационно-диффузионное равновесие. Мера седиментационной устойчивости. Факторы, влияющие на седиментационную устойчивость дисперсных систем.
17. Механизмы образования двойного электрического слоя (ДЭС). Соотношения между электрическим потенциалом и поверхностным натяжением (уравнения Липпмана). Электрокапиллярные кривые и определение параметров ДЭС.
18. Общие представления о теориях строения ДЭС. Уравнение Пуассона-Больцмана для диффузной части ДЭС и его решение для случая слабозаряженных поверхностей. Уравнение Гуи-Чепмена.
19. Современная теория строения ДЭС; роль специфической адсорбции, перезарядка поверхности. Примеры образования ДЭС. Строение мицеллы (формулы ДЭС).

20. Электрокинетические явления. Электрокинетический потенциал. Уравнение Смолуховского для электроосмоса и электрофореза. Эффекты, не учитываемые уравнением Смолуховского (поверхностная проводимость, электрофоретическое торможение, релаксационный эффект).
21. Два вида устойчивости дисперсных систем. Лиофильные и лиофобные системы. Критерий лиофильности по Ребиндеру-Щукину. Факторы агрегативной устойчивости дисперсных систем. Примеры лиофильных и лиофобных дисперсных систем.
22. Лиофильные дисперсные системы. Классификация и общая характеристика ПАВ. Строение мицелл ПАВ в водных и углеводородных средах. Полиморфизм мицелл. Солюбилизация. Области применения мицеллярных систем.
23. Лиофильные дисперсные системы. Истинно растворимые и коллоидные ПАВ, их классификация. Мицеллообразование в растворах коллоидных ПАВ, методы определения ККМ. Факторы, влияющие на ККМ ионных и неионных ПАВ.
24. Термодинамика мицеллообразования. Квазихимический и псевдофазный подходы.
25. Леофобные дисперсные системы. Факторы агрегативной устойчивости леофобных систем. Быстрая и медленная коагуляция. Кинетика коагуляции по Смолуховскому. Определение константы скорости и времени половинной коагуляции. Зависимость числа частиц разного порядка от времени.
26. Теория агрегативной устойчивости ДЛФО. Расклинивающее давление и его составляющие. Расчет потенциальных кривых парного взаимодействия частиц; потенциальные кривые для агрегативно устойчивой и неустойчивой дисперсных систем.
27. Возможности и ограничения классической теории ДЛФО. Основные пути развития теории ДЛФО на современном этапе.
28. Факторы агрегативной устойчивости леофобных дисперсных систем. Электролитная коагуляция (концентрационная и нейтрализационная коагуляция). Правило Шульце – Гарди (закон Дерягина), правило Эйлера – Корфа. Способы стабилизации леофобных дисперсных систем.
29. Структурообразование в соответствии с теорией ДЛФО. Коагуляционно-тиксотропные и конденсационно-кристаллизационные структуры. Условия перехода одних структур в другие. Классификация дисперсных систем по реологическим (структурно-механическим) свойствам.
30. Реологический метод исследования структур в дисперсных системах. Основные понятия и аксиомы реологии. Реологические модели идеальных тел (модели Гука, Ньютона, Сен-Венана-Кулона). Методы измерения вязкости.
31. Моделирование реологических свойств тел, модель и уравнение Бингама. Кривые течения и вязкости жидкообразной и твердообразной систем с коагуляционной структурой. Ползучесть, предел текучести.
32. Моделирование реологических свойств тел. Упруговязкие и вязкоупругие (модели Максвелла, Кельвина-Фойгта). Время релаксации напряжения и деформации.
33. Растворы полимеров как лиофильные дисперсные системы. Основы микрокапсулирования. Простая и сложная коацервация.
34. Микроэмульсии. Получение и особенности коллоидно-химического поведения. Микроэмульсии как типичные лиофильные системы.
35. Наноэмульсии. Получение и свойства. Наноэмульсии как типичные леофобные системы.

#### 4. Рекомендуемая литература

##### а) печатные издания

1. Щукин, Е. Д. Коллоидная химия : Учебник для вузов по спец. "Химия" и направлению "Химия" / Е. Д. Щукин, А. В. Перцов, Е. А. Амелина. – 5-е изд., испр. – Москва : Высш. шк., 2007. – 444 с. : ил. – (Для высших учебных заведений). – Библиогр.: с. 433. – ISBN 978-5-06-005900-7.
2. Фридрихсберг, Д. А. Курс коллоидной химии : Учебник / Д. А. Фридрихсберг. – 4-е изд., испр. и доп. – СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2010. – 411 с. : ил. – (Учебники для вузов. Специальная литература). – ISBN 978-5-8114-1070-5.
3. Щукин, Е. Д. Коллоидная химия : Учебник для вузов по спец. "Химия" и направлению "Химия" / Е. Д. Щукин, А. В. Перцов, Е. А. Амелина ; МГУ им. М. В. Ломоносова. – 4-е изд., испр. . – Москва : Высш. шк., 2006. – 444 с. : ил. – (Классический университетский учебник). – ISBN 5-06-005608-2.
4. Бибик, Е.Е. Коллоидные растворы и суспензии. Руководство к действию: учебное пособие / Е.Е. Бибик. – Санкт-Петербург : ЦОП «Профессия», 2018. – 252 с. – ISBN 978-5-91884-092-4.
5. Фролов, Ю.Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы : Учебник для вузов / Ю. Г. Фролов. – 4-е изд., стер. – Москва : Альянс, 2009. – 463 с. : ил. – Библиогр.: с. 452. – ISBN 978-5-903034-81-9.
6. Новый справочник химика и технолога : Электродные процессы. Химическая кинетика и диффузия. Коллоидная химия / Р. Ш. Абиев, Е. Е. Бибик, Е. А. Власов и др.; ред. С. А. Симанова. – Санкт-Петербург : Проффессионал, 2004. – 837 с. – ISBN 5-98371-016-8
7. Бибик, Е.Е. Сборник задач по коллоидной химии: учебное пособие / Е.Е. Бибик. – 2-е изд., доп. - Санкт-Петербург : СПбГТИ(ТУ), 2019. – 57 с.
8. Пивинский, Ю. Е. Реология дилатантных и тиксотропных дисперсных систем / Ю. Е. Пивинский ; СПбГТИ(ТУ). – Санкт-Петербург : [б. и.], 2001. – 174 с.
9. Малов, В. А. Адсорбция поверхностно-активных веществ : Практикум / В. А. Малов ; СПбГТИ(ТУ). Каф. физ. химии. – Санкт-Петербург : [б. и.], 2017. – 40 с.
10. Дадашев, Р. Х. Термодинамика поверхностных явлений [ ] / Р. Х. Дадашев; под ред. Х. Б. Хоконова. – 2-е изд., испр. . – Москва : Физматлит, 2008. – 278 с. – ISBN 978-5-9221-1017-4.

##### б) электронные издания

1. Фридрихсберг, Д. А. Курс коллоидной химии : Учебник / Д. А. Фридрихсберг. – 5-е изд., стер. – Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2021. – 412 с. – ISBN 978-5-8114-8425-6 : // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 09.07.2021). – Режим доступа: по подписке.
2. Русанов, А. И. Мицеллообразование в растворах поверхностно-активных веществ : Монография / А. И. Русанов, А. К. Щёкин. – 2-е изд., доп. – Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2021. – 612 с. : ил. – (Учебники для вузов. Специальная литература). – ISBN 978-5-8114-2126-8 : // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 01.04.2021). – Режим доступа: по подписке.

3. Бибик, Е. Е. Сборник задач по коллоидной химии : учебное пособие / Е. Е. Бибик ; СПбГТИ(ТУ). Каф. физ. химии. – Электрон. текстовые дан. – Санкт-Петербург : [б. и.], 2019. – 57 с.
4. Волков, В. А. Коллоидная химия. Поверхностные явления и дисперсные системы : Учебник для бакалавров и магистров по направлениям "Технология и проектирование текстильных изделий" и "Технология изделий легкой промышленности" / В. А. Волков. – 2-е изд., испр. – Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2021. – 672 с. : ил. – (Учебники для вузов. Специальная литература). – ISBN 978-5-8114-1819-0 : // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 01.04.2021). – Режим доступа: по подписке.
5. Малов, В. А. Коллоидная химия. Поверхностные явления и дисперсные системы. Словарь-справочник : Учебное пособие / В. А. Малов, В. Н. Наумов. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2022. - 180 с. – ISBN 978-5-8114-9171-1 : // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 19.11.2021). – Режим доступа: по подписке.
6. Коллоидная химия. Практикум и задачник : учебное пособие для вузов по УГСН "Химические технологии" / В. В. Назаров [и др.] ; Под ред.: В. В. Назарова, А. С. Гродского. – Электрон. текстовые дан. – Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2019. – 436 с. – (Учебники для вузов. Специальная литература). – ISBN 978-5-8114-3430-5.
7. Типовые расчеты по физической и коллоидной химии : Учебное пособие / А. Н. Васюкова, О. П. Задачаина, Н. В. Насонова, Л. И. Перепёлкина. – Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2021. - 140 с. – (Учебники для вузов. Специальная литература). – ISBN 978-5-8114-1605-9 : // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 01.04.2021). - Режим доступа: по подписке.
8. Нигматуллин, Н. Г. Физическая и коллоидная химия : Учебное пособие для вузов, обучающихся по технологическим специальностям / Н. Г. Нигматуллин. - 2-е изд., испр. и доп. - Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2021. - 288 с. : ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - ISBN 978-5-8114-1983-8 : // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 01.04.2021). - Режим доступа: по подписке.

#### **в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:**

1. Библиотека Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета) университета - <http://bibl.lti-gti.ru>
2. Российская государственная библиотека - [www.rsl.ru](http://www.rsl.ru)
3. Российская национальная библиотека - [www.nlr.ru](http://www.nlr.ru)
4. Библиотека Академии наук - [www.rasl.ru](http://www.rasl.ru)
5. Библиотека по естественным наукам РАН - [www.benran.ru](http://www.benran.ru)
6. Всероссийский институт научной и технической информации (ВИНИТИ) - [www.viniti.ru](http://www.viniti.ru)
7. Государственная публичная научно-техническая библиотека - [www.gpntb.ru](http://www.gpntb.ru)
8. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU - [elibrary.ru](http://elibrary.ru)
9. Реферативная база данных научных публикаций Web of Science - [webofknowledge.com](http://webofknowledge.com)
10. Электронно-библиотечная система "Лань" <http://e.lanbook.com>