

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«КЕМЕРОВСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ (УНИВЕРСИТЕТ)»

Кафедра общей и неорганической химии

## **КОЛЛОИДНАЯ ХИМИЯ**

Методические указания  
для выполнения контрольных работ бакалавров  
Заочная форма обучения

Кемерово 2016

*Составители:*

**О.В. Салищева**, доцент, канд. хим. наук;  
**Н.Е. Молдагулова**, доцент, канд. хим. наук;  
**Ю.В. Тарасова**, ст. преподаватель, канд. техн. наук;  
**Н.В. Розаленок**, ст. преподаватель,

*Рассмотрено и утверждено на заседании  
кафедры общей и неорганической химии  
Протокол № 8 от 26.05.2016*

*Рекомендовано методической комиссией технологического  
факультета*

В настоящем учебном пособии рассмотрены основные закономерности и явления, изучаемые в курсе "Коллоидная химия" студентами технологических специальностей заочной формы обучения.

Особое внимание уделено процессам, которые характерны для веществ в дисперсном состоянии и явлениям, происходящим на поверхностях раздела фаз. Данное пособие в значительной мере дополняет материал курса лекций по данной дисциплине и содержит варианты и задания контрольных работ, рекомендации по решению типовых задач, список рекомендуемой литературы.

Методические указания предназначены для студентов КемТИПП, обучающихся по направлению подготовки 19.03.02 «Продукты питания растительного происхождения» и 19.03.03 «Продукты питания животного происхождения», изучающих курс «Коллоидная химия».

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Курс коллоидной химии для студентов, обучающихся по направлениям подготовки «Продукты питания растительного происхождения» и «Продукты питания животного происхождения», является учебной дисциплиной, призванной подготовить фундамент для глубокого понимания биохимии и специальных технологических дисциплин.

В методических рекомендациях представлена программа курса коллоидной химии, список рекомендуемой литературы, краткие рекомендации по изучению дисциплины, примеры расчетов, вопросы и задания для контрольных работ.

Прежде чем приступить к изучению материала, необходимо составить календарный план своих занятий в соответствии с учебным графиком, предусмотрев сроки изучения теории по темам программы по учебным пособиям, подготовку контрольной работы и участие в лабораторно-экзаменационной сессии.

В процессе изучения дисциплины студент выполняет контрольную работу, при написании которой необходимо проявить навыки самостоятельной работы, показать умение пользоваться литературными источниками.

При самостоятельном изучении курса физической и коллоидной химии рекомендуется руководствоваться следующим:

1. Прочитать по программе содержание темы. Уяснить объем темы и последовательность излагаемых в ней вопросов.
2. Тщательно проработать по учебным пособиям весь материал, относящийся к данной теме, усвоить теоретические положения, математические зависимости и их выводы, а также разобраться в схемах и графиках.
3. Чтение материала по учебному пособию должно сопровождаться составлением конспекта, в который нужно заносить формулировки законов, основные уравнения и их выводы, схемы, графики.
4. Если при изучении материала возникнут затруднения, необходимо постараться разрешить их самостоятельно или об-

ратиться письменно за консультацией на кафедру общей и неорганической химии университета.

5. Имея перед собой программу курса, необходимо последовательно изучить по каждой теме те главы из учебников, которые рекомендуются в методических указаниях. Проверить усвоение материала по контрольным вопросам, приведенным в данном пособии к каждому разделу курса.

6. Приступая к решению каждой задачи, целесообразно ознакомиться с рекомендациями по теме и примерами расчетов.

7. При решении задач нужно, прежде всего, написать формулу с кратким объяснением, затем в общем виде решить уравнение относительно неизвестной величины и после этого подставить числовые значения, принимая во внимание размерности величин.

8. Графики необходимо вычерчивать на миллиметровой бумаге или строить в табличном процессоре MS Excel.

Выполняя графики на миллиметровой бумаге, следует придерживаться правил:

а) размер графика должен быть не менее чем в половину листа тетради;

б) на осях координат отмечаются через равные интервалы масштабные единицы; указываются единицы измерений;

в) масштаб выбирается таким образом, чтобы кривая занимала по возможности все поле чертежа;

г) точки должны четко наноситься на график в соответствии с выбранным масштабом (без нанесения дополнительных линий их координат);

д) точки соединяются плавной кривой таким образом, чтобы большинство из них попали на кривую или были в одинаковой мере отдалены по обе стороны кривой.

При построении графика в табличном процессоре MS Excel следует подписать название графика и осей согласно задания.

9. Выбор номера варианта контрольной работы указан в разделе 3.

10. В контрольных работах должны быть приведены полностью условия задач и текст вопросов. Работа должна быть написана четко, разборчиво, с полями для замечаний.

В конце работы должен быть представлен список использованной литературы, оформленный по существующим правилам; работа подписывается студентом с проставлением даты ее окончания.

# **1. ПРОГРАММА КУРСА КОЛЛОИДНОЙ ХИМИИ**

## **I. Введение**

Предмет и задачи курса коллоидной химии. Значение коллоидной химии в природе, технике, науке, сельском хозяйстве, пищевых производствах и т.д. Понятие о дисперсных и коллоидных системах. Особенности коллоидного состояния вещества: гетерогенность, высокая дисперсность и большая удельная поверхность.

Классификации дисперсных систем: по размерам частиц дисперсной фазы, по агрегатному состоянию, по силе межфазного взаимодействия, по структуре, по форме частиц дисперсной фазы.

Использование принципов коллоидной химии при проведении коллоидно-химических процессов в условиях пищевых промышленных производств.

## **II. Методы получения и очистки дисперсных систем**

Методы получения дисперсных систем: диспергационные и конденсационные. Задачи, решаемые при получении дисперсных систем. Особенности диспергирования твердых тел: работа деформирования, работа образования новой поверхности, эффект Ребиндера. Особенности диспергирования жидкостей и газов. Процессы диспергирования в природе, современной технике и технологии производства пищевых продуктов. Конденсационные методы получения. Механизм стадии конденсации.

Методы очистки дисперсных систем: диализ, электродиализ, ультрафильтрация. Применение методов очистки в пищевом производстве.

## **III. Термодинамика поверхностного слоя.**

**Поверхностные явления: адсорбция, капиллярные явления, адгезия, когезия, смачивание**

1. Поверхностное натяжение, его измерение и зависимость от температуры.

Граница раздела фаз, ее силовое поле. Удельная поверхностная энергия (поверхностное натяжение) как характеристика этого поля. Энергетическая и силовая интерпретация поверхностного натяжения на границе фаз. Превращение избыточной поверхностной энергии в другие виды энергии. Методы измерения поверхностного натяжения. Классификация поверхностных явлений.

2. Общая характеристика адсорбции. Адсорбция на различных поверхностях раздела фаз.

Основные определения и понятия. Фундаментальное адсорбционное уравнение Гиббса.

Адсорбция на границе раствор–газ. Поверхностно-активные вещества ПАВ с дифильными молекулами, их классификация по молекулярному строению (анионные, катионные, амфолитные, неионогенные, низко- и высокомолекулярные) и по механизму действия (смачиватели, диспергаторы, стабилизаторы, моющие вещества). Уравнение Шишковского: зависимость поверхностного натяжения от концентрации растворов. Поверхностная активность и ее изменение в гомологических рядах. Правило Дюкло-Граубе. Уравнение Гиббса и Ленгмюра. Строение адсорбционных слоев. Адсорбция ПАВ на границе двух несмешивающихся жидкостей. ПАВ в технологии производства пищевых продуктов.

Адсорбция на границе твердое тело–газ. Понятие и физической адсорбции и хемосорбции. Факторы, влияющие на адсорбцию газа на твердом адсорбенте. Мономолекулярная и полимолекулярная адсорбция. Пористые и непористые адсорбенты. Капиллярная конденсация. Роль адсорбции газов на твердом адсорбенте в пищевой промышленности.

Адсорбция из растворов на твердом адсорбенте. Особенности этого вида адсорбции, факторы, влияющие на молекулярную адсорбцию, уравнение Фрейндлиха, правило уравнивания полярностей Ребиндера, правило Шилова, обращение правила Дюкло-Граубе, модифицирующее действие ПАВ (гидро-

филизация и гидрофобизация поверхностей). Адсорбенты, применяемые в технологических процессах пищевых предприятий, ионообменная адсорбция.

3. Капиллярные явления, явления смачивания и растекания

Явления капиллярности и смачивания. Количественные характеристики смачивания: краевой угол, работа адгезии. Теплота смачивания. Закон Юнга. Работа когезии и адгезии. Смачивание шероховатых поверхностей. Супергидрофобные поверхности. Регулирование смачивания путем модификации поверхности. Флотация. Капиллярные явления. Капиллярное давление. Капиллярное поднятие, уравнение Жюрена. Капиллярная конденсация.

Роль поверхностных явлений (адсорбция, смачивание, когезия, адгезия, капиллярные явления) в пищевой промышленности.

#### **IV. Лиофобные дисперсные системы (коллоидные растворы). Устойчивость и эволюция лиофобных дисперсных систем**

1. Методы получения и количественные характеристики лиофобных дисперсных систем

Методы получения лиофобных дисперсных систем: диспергационные и конденсационные. Методы очистки коллоидных растворов: микрофильтрация, обратный осмос, диализ, ультрафильтрация, гельфильтрация, электродиализ.

Количественные характеристики лиофобных дисперсных систем: средний размер частиц дисперсной фазы и форма; дисперсность; удельная поверхность дисперсной фазы; концентрация частиц; поверхностное натяжение на границе дисперсных частиц с дисперсионной средой; время жизни ДС.

2. Устойчивость, стабилизация и коагуляция лиофобных дисперсных систем

Причины и формы неустойчивости лиофобных дисперсных систем. Термодинамическая (агрегативная) неустойчивость. Седиментационная неустойчивость. Седиментация. Седиментационно-диффузное равновесие. Основы седиментационного

анализа. Связь размеров частиц со скоростью их осаждения. Седиментационный анализ дисперсных систем. Кривая седиментации. Кривые распределения частиц по радиусам. Экспериментальные методы в седиментационном анализе.

Коагуляция золей. Коагуляция золей электролитами. Кинетика коагуляции. Теория устойчивости лиофобных золей Дерягина-Ландау. Методы стабилизации лиофобных дисперсных систем (факторы устойчивости лиофобных золей): электростатический; адсорбционно-сольватный; структурно-механический; энтропийный; гидродинамический.

3. Свойства дисперсных систем: электрические, оптические и молекулярно – кинетические и их применение при переработке сырья растительного и животного происхождения

#### Электрические свойства дисперсных систем.

Причины и пути возникновения двойного электрического слоя (ДЭС) на поверхности частиц дисперсной фазы. Основные положения, лежащие в основе теорий о строении ДЭС. Электрокинетический потенциал. Влияние различных факторов на электрокинетический потенциал. Влияние индифферентных и неиндифферентных электролитов на величину электрокинетического потенциала. Экспериментальное определение  $\xi$ -потенциала из явлений электрофореза и электроосмоса. Электрокинетические явления: электрофорез, электроосмос, потенциал течения, потенциал оседания.

#### Оптические свойства дисперсных систем.

Рассеяние света. Уравнение Релея и его анализ. Окраска золей. Оптические методы исследования коллоидных систем.

Молекулярно – кинетические свойства дисперсных систем. Причины молекулярно-кинетических свойств. Броуновское движение. Диффузия. Уравнение Эйнштейна - Смолуховского. Осмос в дисперсных системах и его особенности.

Применение оптических, молекулярно-кинетических и электрических свойств пищевых дисперсных систем при их переработке.

## **V. Лиофильные дисперсные системы. Поверхностно-активные вещества и полимеры в водных растворах. Мицеллярные системы**

1. Растворы коллоидных поверхностно-активных веществ (ПАВ)

Классификация коллоидных ПАВ. Особенности растворов ПАВ. Гидрофильно-липофильный баланс. Мицеллообразование в растворах ПАВ. Критическая концентрация мицеллообразования и методы ее определения. Строение и форма мицелл. Термодинамика образования мицелл. Рост мицелл. Смешанные мицеллы. Солюбилизация. Ассоциаты поверхностно-активных веществ с полимерами и белками. Области применения мицеллярных растворов ПАВ.

2. Растворы высокомолекулярных соединений (молекулярные коллоиды)

Растворы полимеров. Набухание и растворение ВМС. Ограниченное и неограниченное набухание. Степень и скорость набухания. Влияние различных факторов на набухание. Полиэлектролиты. Изоэлектрическое состояние. Изоэлектрическая точка. Влияние высокомолекулярных соединений на устойчивость лиофобных золь. Коллоидная защита. Флокуляция. Сенсибилизация.

## **VI. Структурообразование в дисперсных системах ДС. Структурно-механические свойства и реологический метод исследования дисперсных систем, в том числе пищевых**

Возникновение объемных структур в различных пищевых дисперсных системах. Классификация дисперсных пищевых систем по структурно-механическим свойствам: свободно-дисперсные и связнодисперсные системы; конденсационно-кристаллизационные и коагуляционные системы. Переход одних структур в другие. Тиксотропия, синерезис. Жидкообразные (ньютоновские и неньютоновские жидкости) и твердообразные

(бингамовские и небингамовские) дисперсные системы. Анализ реологических кривых.

## **VII. Значение и применение в пищевой промышленности микрогетерогенных и грубодисперсных систем: эмульсий, пен, суспензий, аэрозолей, порошков**

1. Системы с жидкой дисперсионной средой: эмульсии, пены, суспензии

Эмульсии. Классификация, методы получения и разрушения, свойства и основные характеристики эмульсий. Эмульгаторы и их типы, обращение фаз эмульсий. Деэмульгаторы. Молоко, как природная эмульсия. Эмульсии в производстве пищевых продуктов.

Пены. Классификация, методы получения пен. Общая характеристика пен: кратность, время жизни, дисперсность. Методы разрушения пен. Пенообразование в молочной промышленности.

Суспензии. Классификация, условия получения суспензий, способы стабилизации, основные свойства: разбавленные и концентрированные суспензии. Суспензии в мясной промышленности.

2. Системы с газообразной дисперсионной средой: аэрозоли, порошки.

Аэрозоли. Классификация и способы получения. Общая характеристика аэрозолей: размеры и форма частиц дисперсной фазы, структура аэрозоля, свойства аэрозолей – поверхностные, оптические, молекулярно-кинетические, электрические. Устойчивость и методы разрушения аэрозолей. Практическое применение аэрозолей. Пищевые аэрозоли.

Порошки. Классификация и методы получения. Общая характеристика и свойства порошков: адгезия и когезия в порошках, текучесть, распыление, флуидизация, гранулирование, слеживание. Устойчивость порошков. Практическое применение и значение свойств порошков в мукомольной и пищевой промышленности.

## Литература

### Основная

1. Гельфман М.И. Коллоидная химия [текст]: учебник для технолог. спец. вузов / М.И.Гельфман, О.В.Ковалевич, В.П.Юстратов. - 4-е изд., стер. - СПб.:Лань, 2008. – 33 с. - (Учебники для вузов. Специальная литература).
2. Фридрихсберг Д.А. Курс коллоидной химии: учебник для вузов. - Л.: Химия, 1984. - 368 с.
3. Зимон А.Д. Коллоидная химия [текст]: учебник для студ. вузов, обуч. по напр. "Химия", "Специальная технология", "Химическая технология и биотехнология" и специальностям "Химия" и "Биотехнология" / А.Д.Зимон.- 3-е изд., испр. и доп.- М.:Агар, 2001.- 318 с. *Гриф Министерства образования РФ.*
4. Сумм Б.Д. Основы коллоидной химии [текст]: учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по спец. "Химия" напр. "Химия" / Б.Д.Сумм.- 3-е изд., стер. - М.:Академия, 2009. – 240 с. – (Высшее профессиональное образование. Естественные науки). *Гриф учебно-методического объединения по классическому университетскому образованию.*
5. Практикум по коллоидной химии [текст]: учебное пособие для студ. технолог. спец. вузов по программам курса «Коллоидная химия» / под. ред. М.И.Гельфман. - СПб.:Лань, 2005.- 256 с.:ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература). *Гриф Сибирского регионального учебно-методического центра ВПО.*

### Дополнительная

6. Ковалевич, О.В. Коллоидная химия [Текст]: конспект лекций / О.В.Ковалевич; КемТИПП. - Кемерово : КемТИПП, 2001. - 144 с.
7. Холохонова Л.И. Молекулярно-кинетические свойства дисперсных систем. - Кемерово, 1995.

8. Холохонова Л.И., Кирсанова, Н.В. Адсорбция. - Кемерово, 1998. - 64 с.
9. Холохонова Л.И. Устойчивость и коагуляция дисперсных систем [текст]: учеб. пособие / Л.И.Холохонова, Е.В.Короткая; КемТИПП. - Кемерово: КемТИПП, 2000. - 106 с.
10. Кирсанова Н.В. Справочные материалы по физической и коллоидной химии [текст]: учеб. справочник для студ. вузов всех спец. и всех форм обучения / Н.В.Кирсанова, Ю.В.Тарасова; КемТИПП. -Кемерово: КемТИПП, 2005. -88 с.
11. Ковалевич О.В. Коллоидно-химические аспекты пищевых технологий [текст]: учеб. пособие для студ. вузов технол. спец. всех форм обучения / О.В.Ковалевич, О.В.Салищева, Н.Е.Молдагулова; КемТИПП. - Кемерово: КемТИПП, 2009.-95 с.
12. Физическая и коллоидная химия (в общественном питании): Учебное пособие/С.В. Горбунцова, Э.А. Муллоярова, Е.С. Оробейко, Е.В. Федоренко. - М.: Альфа-М; ИНФРА-М, 2008. - 270 с.: ил. - (Серия «ПРОФИЛЬ»).
13. Зимон А.Д. Занимательная коллоидная химия. 4-е издание, доп. и перераб. - М.: Агар, 2002. - 168 с.

#### *Интернет ресурсы*

1. <http://fizchim.ucoz.ru/> Сайт кафедры общей и неорганической химии КемТИПП
2. <http://www.xumuk.ru/colloidchem/12.html> - сайт по разным разделам химии
3. <http://www.physchem.chimfak.rsu.ru/Source/Colloid.html>
4. <http://www.physchem.chimfak.rsu.ru/Source/PCC/> Лекции по курсу "физическая и коллоидная химия" Сергей Иванович Левченков
5. <http://tube.sfu-kras.ru/films>
6. <http://tube.sfu-kras.ru/video/28#export> учебный фильм «Адсорбция»

7. <http://ru.wikipedia.org/> всемирная энциклопедия «Википедия»
8. <http://nehudlit.ru/books/subcat282.html> книги по химии
9. <http://www.chem.msu.su/rus> - Сайт Химического факультета МГУ
10. <http://chemport.ru> - Химический портал. Новости химии, форум и др. материалы.
11. <http://xumuk.ru> - Новый сайт о химии для химиков. Химическая энциклопедия, фармацевтические справочники, методики синтеза и другие полезные материалы онлайн.
12. <http://ximicat.com> - Химический каталог. Ссылки на химические сайты и форум.
13. <http://www.chem.km.ru> - химия на KM.ru Мир химии - от создателей сайта и энциклопедии "Кирилл и Мефодий". Цель сайта – помочь активному усвоению теоретических основ химии, развитию творческих способностей, сообразительности, логического мышления.
14. <http://www.physchem.chimfak.rsu.ru> - учебно-информационный web-сайт кафедры физической и коллоидной химии Ростовского государственного университета.
15. <http://www.veronium.Narod.Ru> – полезная и интересная информация по разным разделам химии, разделы «Химия и человек», «Химия и экология», «Биография великих ученых», «Химия и пищевая промышленность», «Книги по химии» и др.
16. <http://chemistry-chemists.com/Uchebniki/Chemistry-books-Physical-Colloid.html> - скачать книги по химии
17. <https://sites.google.com/site/kolloidnaahimia/> - учебный сайт по коллоидной химии.

## 2. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ КОЛЛОИДНОЙ ХИМИИ

### 2.1. Коллоидное состояние

Современная коллоидная химия - учение о высоко раздробленном состоянии вещества - с полным правом может быть названа наукой о коллоидах и поверхностях.

При изучении этого раздела надо понять, что коллоидный раствор, это система, в которой хотя бы одно вещество находится в коллоидном состоянии, т.е. раздроблено до очень маленьких частиц ( $10^{-7} - 10^{-5}$  см), невидимых в оптический микроскоп, но являющихся самостоятельной термодинамической фазой. Отсюда следует, что для объектов коллоидной химии характерны два общих признака: **гетерогенность** и **дисперсность**. Выделение этих признаков полностью соответствует современному представлению об объектах коллоидной химии. Они позволяют расширить объекты этой науки и в то же время установить их границы. Все особые свойства, характерные для объектов коллоидной химии, являются функциями или следствием гетерогенности и дисперсности.

**Гетерогенность**, или **многофазность**, означает, что система состоит как минимум из двух фаз. Гетерогенность выступает в коллоидной химии как признак, указывающий на наличие межфазной поверхности, поверхностного слоя - основного объекта этой науки. Коллоидная химия концентрирует внимание в первую очередь на процессах и явлениях, происходящих на межфазных границах, в пограничных слоях. Таким образом, гетерогенность - важнейший признак объектов коллоидной химии. Мерой качественной характеристики *гетерогенности* может служить величина *удельной поверхностной энергии G*.

Второй признак объектов коллоидной науки - дисперсность (раздробленность). Дисперсность означает, что одна из фаз является раздробленной, ее называют **дисперсной фазой**. Сплошную фазу, в которой распределена дисперсная фаза, называют **дисперсионной средой**. Фаза считается дисперсной, если вещество в ней раздроблено хотя бы в одном измерении (по длине,

ширине или высоте). Раздробленность приводит к резкому увеличению поверхности раздела фаз. Мерой дисперсности является величина **удельной поверхности**, которая позволяет количественно определять фактическую границу между дисперсной фазой и дисперсионной средой.

Современная коллоидная химия изучает не только коллоидные растворы, но и все дисперсные системы, в которых размеры частиц не превышают  $10^{-2}$  см. Необходимо ознакомиться с классификацией дисперсных систем, выделить их особенности.

1. Наличие большой удельной поверхности обуславливает то, что определяющими являются **свойства поверхности**, а не самой частицы; характерными являются – процессы, протекающие на поверхности, а не внутри фазы.
2. Дисперсные системы являются термодинамически (принципиально) не устойчивыми системами, так как их образование сопровождается увеличением свободной энергии системы (требует затраты энергии извне).
3. Относительная устойчивость достигается, как правило, в присутствии специальных веществ – стабилизаторов.
4. Отсутствует строгая воспроизводимость дисперсной системы.

Свойства дисперсных систем в значительной степени определяются концентрацией и диапазоном размеров частиц дисперсной фазы.

Также в этой главе следует рассмотреть значение коллоидной химии для пищевой промышленности и охраны окружающей среды.

### **Контрольные вопросы**

1. Дисперсные системы, их классификация, основные особенности дисперсных систем.
2. Коллоидные растворы (лиофобные золи), коллоидное состояние вещества, его особенности.

## Примеры расчетов

**Пример 1.** Дисперсность эмульсий полученных при ручном и машинном взбивании соответственно составляет:  $D_{\text{руч.}} = 4,95 \cdot 10^4 \text{ м}^{-1}$  и  $D_{\text{маш.}} = 2,35 \cdot 10^5 \text{ м}^{-1}$ . Определите удельную поверхность дисперсной фазы и диаметр капель масла в эмульсиях при ручном и механическом взбивании, если плотность масла  $\rho = 1,05 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ .

Согласно определению дисперсность ( $D$ ) это величина, обратная минимальному размеру частиц дисперсной фазы. Если частицы имеют сферическую форму, то дисперсность обратно пропорциональна их радиусу ( $r$ ).

$$D = \frac{1}{r}$$

Следовательно, диаметры капель при ручном и машинном взбивании будут равны:  $d_{\text{руч.}} = 4 \cdot 10^{-5} \text{ м}$ ,  $d_{\text{маш.}} = 8,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ .

Под величиной удельной поверхности ( $S_{\text{уд.}}$ ) понимают отношение общей поверхности раздробленного вещества к его массе.

$$S_{\text{уд.}} = \frac{S_{1,2} \cdot n}{m \cdot n},$$

где  $S_{1,2}$  – площадь поверхности одной частицы,  $\text{м}^2$ ;

$n$  – число частиц в системе;

$m$  – масса одной частицы,  $\text{кг}$  ( $m = \rho \cdot V$ );

$\rho$  – плотность частицы,  $\text{кг/м}^3$ ;

$V$  – объем частицы,  $\text{м}^3$ .

Для сферической частицы радиуса  $r$ :

$$V = \frac{4}{3} \pi \cdot r^3,$$

$$S_{1,2} = 4\pi \cdot r^2,$$

$$S_{\text{уд.}} = \frac{4\pi r^2 \cdot n}{\frac{4}{3}\pi r^3 \cdot n \cdot \rho} = \frac{3}{r \cdot \rho} = \frac{6}{d \cdot \rho}.$$

Тогда удельные поверхности при ручном и машинном взбивании будут равны:  $S_{\text{уд. руч.}} = 142,8 \text{ м}^2/\text{кг}$ ,  $S_{\text{уд. маш.}} = 672,3 \text{ м}^2/\text{кг}$ .

*Ответ:*  $d_{\text{руч.}} = 4,0 \cdot 10^{-5} \text{ м}$ ,  $S_{\text{уд. руч.}} = 142,8 \text{ м}^2/\text{кг}$ ;  
 $d_{\text{маш.}} = 8,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ ,  $S_{\text{уд. маш.}} = 672,3 \text{ м}^2/\text{кг}$ .

**Пример 2.** На упаковке сметаны, указано, что содержание жира составляет 15%. Определить объем дисперсной фазы в упаковке вместимостью 0,5 л и численную концентрацию дисперсной фазы, если диаметр жировых капель равен  $106 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ .

Содержание дисперсной фазы в эмульсиях представляют в виде объемной концентрации ( $v_{\text{об.}}$ ). Объемная концентрация – безразмерная величина, показывающая, какая часть объема дисперсной системы занимает объем дисперсной фазы.

$$v_{\text{об.}} = \frac{V_{\text{д.ф.}}}{V_{\text{д.с.}}} \quad \text{или} \quad v_{\text{об.}} = \frac{V_{\text{д.ф.}}}{V_{\text{д.с.}}} \cdot 100\%$$

где  $V_{\text{д.ф.}}$  – объем дисперсной фазы,  $\text{м}^3$ ;  
 $V_{\text{д.с.}}$  – объем дисперсионной среды,  $\text{м}^3$ .

Найдем объем дисперсной фазы (жира) в 0,5 л сметаны:

$$V_{\text{д.ф.}} = \frac{v_{\text{об.}} \cdot V_{\text{д.с.}}}{100\%} = \frac{15 \cdot 0,5}{100} = 0,075 \text{ л} = 75 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Число жировых частиц  $N$  можно определить по формуле:

$$N = V_{\text{д.ф.}} / V_{\text{ч.}},$$

где  $V_{\text{ч.}}$  – объем одной частицы,  $\text{м}^3$  (для сферических частиц

$$V_{\text{ч.}} = \frac{4}{3} \pi \cdot r^3),$$

$r$  – радиус частицы, м.

$$N = \frac{V_{\text{д.ф.}}}{V_{\text{ч.}}} = \frac{V_{\text{д.ф.}}}{\frac{4}{3} \pi r^3} = \frac{3V_{\text{д.ф.}}}{4\pi r^3}.$$

Тогда,  $N = 15 \cdot 10^6$ .

Численная (частичная) концентрация определяется числом частиц дисперсной фазы в единице объема дисперсной системы.

$$v_{\text{ч.}} = N / V_{\text{д.с.}},$$

где  $v_{\text{ч.}}$  – численная концентрация,  $\text{м}^{-3}$ ;

$N$  – число частиц дисперсной фазы;

$V_{\text{д.с.}}$  – объем дисперсионной среды,  $\text{м}^3$ .

$$v_{\text{ч.}} = N / V_{\text{д.с.}} = 15 \cdot 10^6 / 0,5 \cdot 10^{-3} = 3 \cdot 10^{10} \text{ м}^{-3}.$$

*Ответ:*  $V_{\text{д.ф.}} = 75 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$ ,  $v_{\text{ч.}} = 3 \cdot 10^{10} \text{ м}^{-3}$ .

**Пример 3.** Численная концентрация пыли в воздухе рабочих зон помещений предприятий составляет  $1,44 \cdot 10^8 \text{ м}^{-3}$ . Определить массовую концентрацию пыли, если средний диаметр частиц составляет  $3,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ , а их плотность  $1,2 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ .

Численная (частичная) концентрация показывает количество частиц дисперсной фазы в единице объема дисперсной системы:

$$v_{\text{ч.}} = \frac{N}{V_{\text{д.с.}}}$$

Массовая концентрация – это отношение массы дисперсной фазы к единице объема дисперсной системы:

$$v_{\text{м.}} = \frac{m_{\text{д.ф.}}}{V_{\text{д.с.}}},$$

где  $v_{\text{м.}}$  – массовая концентрация,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  
 $m_{\text{д.ф.}}$  – масса дисперсной фазы,  $\text{кг}$ ;  
 $V_{\text{д.с.}}$  – объем дисперсионной среды,  $\text{м}^3$ .

Массу дисперсной фазы можно рассчитать как число частиц дисперсной фазы ( $N$ ), умноженное на массу одной частицы  $m_{\text{ч.}}$ . Принимая во внимание, что  $m_{\text{ч.}} = \rho_{\text{ч.}} \cdot V_{\text{ч.}}$ , получим:

$$v_{\text{м.}} = \frac{N \cdot m_{\text{ч.}}}{V_{\text{д.с.}}} = v_{\text{ч.}} \cdot m_{\text{ч.}} = v_{\text{ч.}} \cdot V_{\text{ч.}} \cdot \rho_{\text{ч.}}$$

где  $V_{\text{ч.}}$  – объем одной частицы,  $\text{м}^3$  (для сферических частиц  $V_{\text{ч.}} = \frac{4}{3} \pi \cdot r^3$ ),

$r$  – радиус частицы,  $r = d / 2$ ,  $\text{м}$ .

$\rho$  – плотность частицы,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

$$v_{\text{м.}} = v_{\text{ч.}} \cdot \frac{4}{3} \pi \cdot r^3 \cdot \rho_{\text{ч.}} = 4,2 \cdot 10^{-6} \text{ кг} / \text{м}^3$$

*Ответ:*  $v_{\text{м.}} = 4,2 \cdot 10^{-6} \text{ кг}/\text{м}^3$ .

## 2.2. Поверхностные явления и адсорбция

Изучая поверхностные явления, следует иметь в виду, что их значимость многократно возрастает, когда речь идет о дисперсных системах, чья удельная поверхность очень велика.

Следует уяснить природу сил, вызывающих поверхностное натяжение и адсорбцию.

Для случая адсорбции на границе «раствор - газ» необходимо усвоить, как и почему различные вещества в растворе могут воздействовать на поверхностное натяжение жидкости, какова связь между концентрацией растворенного вещества, его адсорбцией на границе «раствор - газ» и поверхностным натяжением раствора, что называется поверхностной активностью, как природа и растворимость вещества в данном растворителе влияют на поверхностное натяжение и адсорбцию.

Для случая адсорбции на границе «твердое тело - газ» нужно понять, как величина адсорбции зависит от давления газа и температуры, уяснить основные положения теорий адсорбции: Ленгмюра, БЭТ, установить границы применимости этих теорий.

Для адсорбции на границе «твердое тело - раствор» характерны два существенно различающихся случая: адсорбция молекул растворенного вещества (молекулярная адсорбция) и адсорбция ионов (ионная адсорбция). Необходимо установить черты сходства и отличия в закономерностях молекулярной адсорбции на границе «твердое тело - раствор» и «твердое тело - газ», выявить влияние на адсорбцию природы среды, адсорбтива и природы и свойств адсорбента.

При изучении ионной адсорбции следует уяснить влияние на адсорбцию величины заряда и радиуса иона. Особое внимание нужно уделить адсорбции ионов, способных деформировать решетку кристаллического адсорбента, и обратить внимание на то, что при ионной адсорбции на границе раздела фаз возникает двойной ионный слой.

Необходимо рассмотреть сущность ионообменной адсорбции, ее практическое применение, природные и синтетические иониты.

Отметить значение явлений адсорбции в природе и практической деятельности человека.

### Контрольные вопросы

3. Адсорбция растворенного вещества на границе «жидкий раствор - газ». Уравнение Гиббса. Уравнение Шишковского. Поверхностная активность вещества. ПАВ и ПИВ. Правило Дюкло-Траубе.
4. Адсорбция газа на твердом адсорбенте. Эмпирическое уравнение Фрейндлиха. Теория мономолекулярной адсорбции Ленгмюра. Понятие о капиллярной конденсации. Теория БЭТ.
5. Адсорбция растворенного вещества на твердом адсорбенте, ее классификация. Молекулярная адсорбция, уравнение Фрейндлиха. Зависимость молекулярной адсорбции от природы растворителя, адсорбента, адсорбтива.
6. Ионная адсорбция, факторы, влияющие на ионную адсорбцию. Ионообменная адсорбция, ее практическое применение. Катиониты и аниониты.
- 7.

### Примеры расчетов

**Пример 1.** При изучении адсорбции азота на активированном угле при  $T = 220 \text{ K}$  были получены следующие экспериментальные данные. Графически определить константы в уравнении Ленгмюра ( $\alpha_\infty$  и  $K$ ), пользуясь которыми, построить изотерму адсорбции  $a = f(c)$ .

$P \cdot 10^{-2}, \text{ Па}$	18,7	61,0	180,0	330,0	700,0
$\alpha \cdot 10^3, \text{ м}^3/\text{кг}$	5	14	33	50	60

Уравнение изотермы адсорбции Ленгмюра имеет вид:

$$\alpha = \alpha_\infty \cdot \frac{KP}{1 + KP},$$

где  $\alpha$  - адсорбция, величина, показывающая количество вещества в поверхностном слое, приходящееся на единицу площади поверхности или единицу массы адсорбента;

$\alpha_\infty$  - предельная адсорбция при толщине адсорбционного слоя в 1 молекулу адсорбата (мономолекулярный слой);

$P$  – равновесное парциальное давление газа;

$K$  – константа адсорбционного равновесия, постоянная для данного адсорбата.

1) Для того чтобы найти постоянные в этом уравнении ( $\alpha_\infty$  и  $K$ ), необходимо привести его к линейному виду:  $y = a + b \cdot x$ . В линейной форме уравнение изотермы адсорбции Ленгмюра будет иметь следующий вид:

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{\alpha_\infty} + \frac{1}{\alpha_\infty \cdot K} \cdot \frac{1}{P}$$

Рассчитаем значения  $\frac{1}{P}$  и  $\frac{1}{a}$  для каждого значения  $P$

и  $a$ . Полученные величины представим в виде таблицы. Надо помнить, что если дано  $P \cdot 10^{-2} = 18,7$  Па, то  $P = 18,7 / 10^{-2} = 18,7 \cdot 10^2$  Па, получим  $1/P = 1 / (18,7 \cdot 10^2) = 5,35 \cdot 10^{-4}$  Па<sup>-1</sup>. В таблицу записываем:  $1/P \cdot 10^4$ , Па<sup>-1</sup> и значение 5,35. Аналогичным образом представляем значение адсорбции  $a$ .

$1/P \cdot 10^4$ , Па <sup>-1</sup>	5,35	1,64	0,55	0,30	0,14
$1/\alpha \cdot 10^{-2}$ , кг/м <sup>3</sup>	2,00	0,71	0,30	0,20	0,17

2) По полученным данным строим изотерму адсорбции в координатах линейной формы уравнения Ленгмюра (график в координатах  $1/\alpha - 1/P$ ).

Обработку полученных экспериментальных данных можно провести одним из способов:

- построение графика на миллиметровой бумаге и определение коэффициентов «вручную» (рис. 1, а);
- построение графика в табличном процессоре MS Excel и определение коэффициентов по линии тренда (рис. 1, б).

Ниже приведен расчет двумя способами. Для выполнения контрольной работы достаточно использовать один способ обработки.

### *Построение графика на миллиметровой бумаге*

Экстраполяция зависимости до оси ординат дает отрезок, равный

$m = \frac{1}{\alpha_{\infty}}$ , тангенс угла наклона полученной прямой линии к оси абсцисс есть угловой коэффициент ( $a$ ) линейной функции  $\operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{\alpha_{\infty} \cdot K}$  (рис. 1, а).

Из графика находим:

$$m = 1/\alpha_{\infty} = 0,1 \cdot 10^2 \text{ кг/м}^3.$$

Следует помнить, что для нахождения  $\operatorname{tg} \alpha$  надо брать отношение противолежащего катета ( $y$ ) к прилежащему ( $x$ ) не в см, а с учетом реального масштаба величин, откладываемых по осям координат.

$$\begin{aligned} \text{Так, } y &= 2,0 \cdot 10^2 - 1,0 \cdot 10^2 = 1,0 \cdot 10^2 \text{ кг/м}^3, \\ x &= 5,35 \cdot 10^{-4} - 2,50 \cdot 10^{-4} = 2,85 \cdot 10^{-4} \text{ Па}^{-1}. \end{aligned}$$

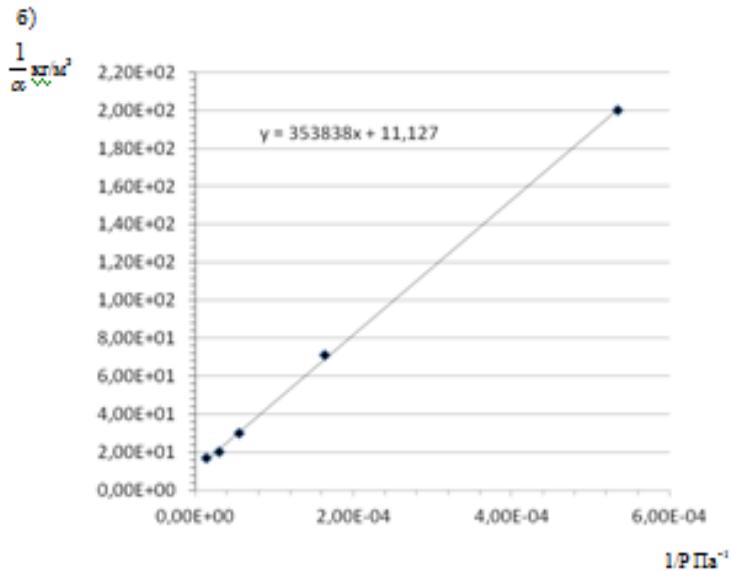
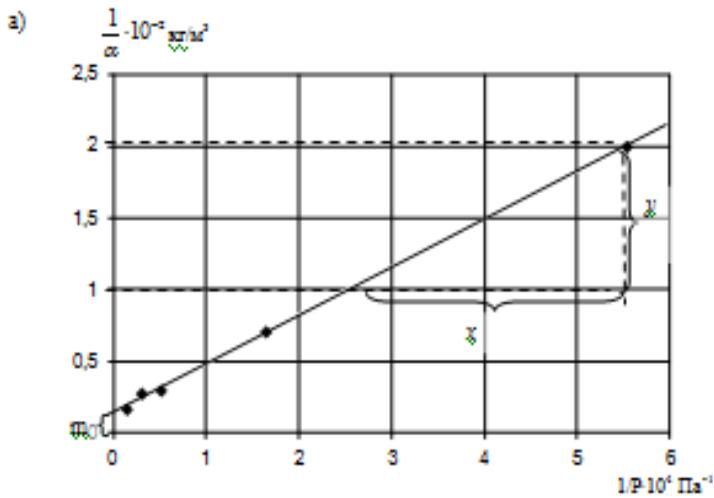


Рис. 1. Изотерма адсорбции азота на активированном угле  
 а) график построен на миллиметровке;  
 б) график построен в MS Excel.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{\alpha_{\infty} \cdot K} = \frac{y}{x} = \frac{1,0 \cdot 10^2}{2,85 \cdot 10^{-4}} = 35,0 \cdot 10^4,$$

$$\alpha_{\infty} = \frac{1}{m} = 0,1 \text{ м}^3/\text{кг}; \quad K = \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha \cdot \alpha_{\infty}} = 2,86 \cdot 10^{-5} \text{ Па}^{-1}.$$

### ***Построение графика в табличном процессоре MS Excel***

При построении графика в MS Excel следует вводить реальные значения величин. Например, если  $1/P=5,35 \cdot 10^{-4}$ , то вводить нужно значение 0,000535. После построения графика, следует добавить линейную линию тренда, в свойствах которой поставить галочку на вкладке «показать уравнение линии тренда». В этом случае программа автоматически выведет уравнение типа

$y = a \cdot x + b$ , описывающее прямую линию. Коэффициент  $a$ , стоящий перед  $x$  в этом уравнении и будет являться угловым коэффициентом, т.е. тангенсом угла наклона полученной прямой линии к оси абсцисс  $a = \operatorname{tg} \alpha$ ; коэффициент  $b$  - это свободный член линейной функции, равный обратной величине

предельной адсорбции  $b = \frac{1}{a_{\infty}}$ .

В нашем случае (рис. 1, б) прямая, построенная в MS Excel, описывается уравнением  $y = 353838 \cdot x + 11,127$ , где коэффициенты равны  $a = 353838$ ,  $b = 11,127$ .

Тогда

$$a_{\infty} = \frac{1}{b} = \frac{1}{11,127} = 0,089 \text{ м}^3/\text{кг};$$

$$K = \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha \cdot \alpha_{\infty}} = \frac{1}{353838 \cdot 0,089} = 3,18 \cdot 10^{-5} \text{ Па}^{-1}$$

3) Рассчитываем величину адсорбции, подставляя в уравнение Ленгмюра константы  $\alpha_{\infty}$  и  $K$ , найденные по одному из способов.

$P \cdot 10^{-2}$ , Па	$\alpha \cdot 10^3$ , м <sup>3</sup> /кг
18,7	$a = 0,1 \cdot \frac{2,86 \cdot 10^{-5} \cdot 18,7 \cdot 10^2}{1 + 2,86 \cdot 10^{-5} \cdot 18,7 \cdot 10^2} = 4,6$
61,0	$a = 0,1 \cdot \frac{2,86 \cdot 10^{-5} \cdot 61 \cdot 10^2}{1 + 2,86 \cdot 10^{-5} \cdot 61 \cdot 10^2} = 13,4$
180,0	$a = 0,1 \cdot \frac{2,86 \cdot 10^{-5} \cdot 180 \cdot 10^2}{1 + 2,86 \cdot 10^{-5} \cdot 180 \cdot 10^2} = 31$
330,0	$a = 0,1 \cdot \frac{2,86 \cdot 10^{-5} \cdot 330 \cdot 10^2}{1 + 2,86 \cdot 10^{-5} \cdot 330 \cdot 10^2} = 44$
700,0	$a = 0,1 \cdot \frac{2,86 \cdot 10^{-5} \cdot 700 \cdot 10^2}{1 + 2,86 \cdot 10^{-5} \cdot 700 \cdot 10^2} = 60$

4) Строим изотерму адсорбции Ленгмюра.

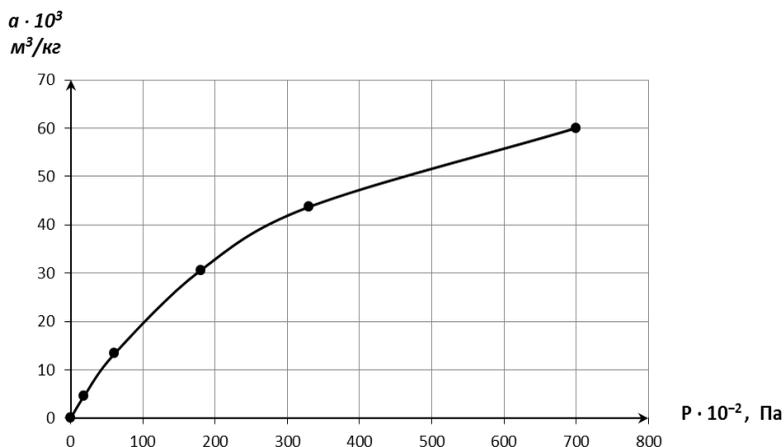


Рис. 2. Изотерма адсорбции

**Пример 2.** Определить константы эмпирического уравнения Фрейндлиха, используя представленные ниже экспериментальные данные адсорбции  $\text{CO}_2$  на активированном угле при  $T = 231 \text{ K}$ .

$P \cdot 10^{-2}, \text{ Па}$	10,0	44,8	100,0	144,0	250,0	452,0
$\alpha \cdot 10^3, \text{ кг/кг}$	32,3	66,7	96,2	117,2	145,0	177,0

Эмпирическое уравнение Фрейндлиха имеет вид:

$$\alpha = \beta \cdot P^{\frac{1}{n}}$$

Чтобы найти константы  $\beta$  и  $1/n$  этого уравнения, необходимо привести его к линейной форме:  $y = ax + b$ . Так как исходное уравнение степенное, то для приведения к линейной форме его нужно прологарифмировать:

$$\lg \alpha = \lg \beta + \frac{1}{n} \cdot \lg P$$

1) Рассчитаем значения  $\lg \alpha$  и  $\lg P$ , используя значения, приведенные в таблице. (Надо помнить, что если дано  $P \cdot 10^{-2} = 44,8 \text{ Па}$ , то  $P = 44,8 / 10^{-2} = 44,8 \cdot 10^2 \text{ Па}$ ,  $\alpha \cdot 10^3 = 32,3 \text{ кг/кг}$ , то  $\alpha = 32,3 / 10^3 = 32,3 \cdot 10^{-3} \text{ кг/кг}$ ).

$\lg P$	3,000	3,651	4,000	4,158	4,398	4,655
$\lg \alpha$	-1,491	-1,176	-1,017	-0,932	-0,839	-0,752

2) По этим данным строим график в координатах  $\lg \alpha - \lg P$  (рис. 3).

3) Из графика находим свободный член линейной функции -  $\lg \beta$ , который равен отрезку  $m$ , отсекаемому прямой на оси ординат  $m = \lg \beta = -2,92$ .

Тогда  $\beta = 10^{-2,92} = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ кг/(кг Па)}$ .

Угловой коэффициент линейной функции  $1/n$  равен тангенсу угла наклона прямой к оси абсцисс:  $\operatorname{tg}\alpha = 1/n$

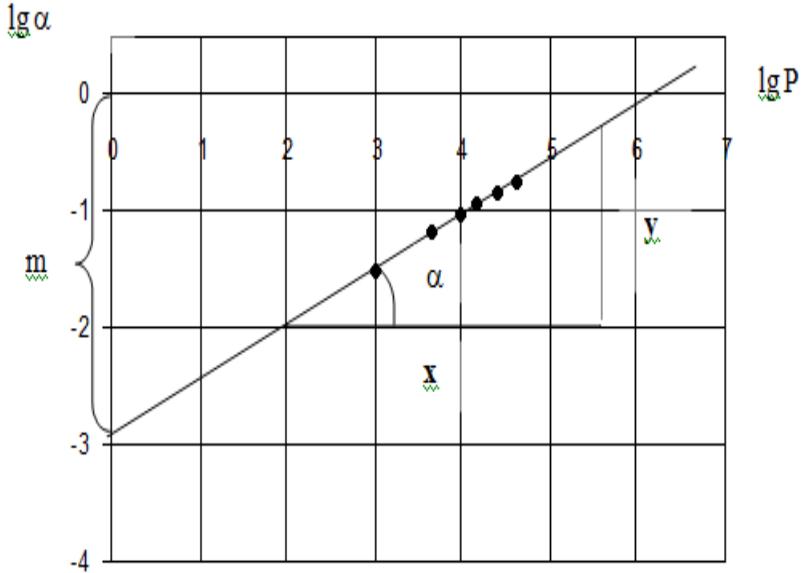


Рис. 3. Изотерма адсорбции  $\text{CO}_2$  на активированном угле в координатах  $\lg\alpha - \lg P$

При этом следует помнить, что для нахождения  $\operatorname{tg}\alpha$  надо брать отношение противолежащего катета ( $y$ ) к прилежащему ( $x$ ) не в см, а с учетом реального масштаба величин, откладываемых по осям координат.

$$\text{Так, } y = (-0,3) - (-2,0) = 1,7$$

$$x = 5,6 - 2,0 = 3,6$$

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{y}{x} = \frac{1,7}{3,6} = 0,47$$

Таким образом, уравнение Фрейндлиха имеет вид:

$$\alpha = 1,2 \cdot 10^{-3} \cdot P^{0,47}$$

Используя его, можно рассчитать величину адсорбции  $\text{CO}_2$  на активированном угле при температуре 231 К во всем интервале давлений, для которого выполняется уравнение Фрейндлиха.

4) Рассчитываем величину адсорбции, подставляя в уравнение Фрейндлиха найденные константы  $\beta = 1,2 \cdot 10^{-3}$  кг/(кг Па) и  $1/n = 0,47$ .

$P \cdot 10^{-2}$ , Па	$\alpha \cdot 10^3$ , кг/кг
10,0	$a = 1,2 \cdot 10^{-3} \cdot (10,0 \cdot 10^2)^{0,47} = 30,8$
44,8	$a = 1,2 \cdot 10^{-3} \cdot (44,8 \cdot 10^2)^{0,47} = 62,4$
100,0	$a = 1,2 \cdot 10^{-3} \cdot (100 \cdot 10^2)^{0,47} = 91,0$
144,0	$a = 1,2 \cdot 10^{-3} \cdot (144 \cdot 10^2)^{0,47} = 108,0$
250,0	$a = 1,2 \cdot 10^{-3} \cdot (250 \cdot 10^2)^{0,47} = 145,0$
452,0	$a = 1,2 \cdot 10^{-3} \cdot (452 \cdot 10^2)^{0,47} = 185,0$

5) Строим изотерму адсорбции.

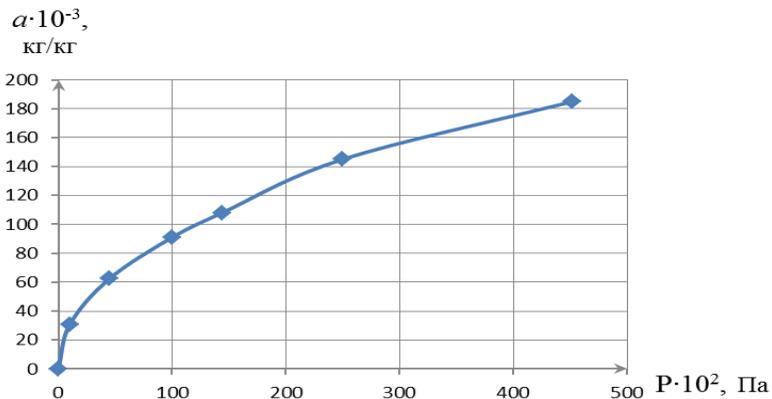


Рис. 4. Изотерма адсорбции  $\text{CO}_2$  на активированном угле

**Пример 3.** Для водных растворов амилового спирта при температуре  $T = 298 \text{ К}$ ,  $\sigma_0 = 72,75 \cdot 10^{-3} \text{ Дж/м}^2$ ,  $V = 20,22 \cdot 10^{-3} \text{ Дж/м}^2$ ,  $K = 46,2 \text{ м}^3/\text{кмоль}$ . Используя уравнение Шишковского, рассчитайте поверхностное натяжение растворов амилового спирта для указанных ниже концентраций  $c$ . Постройте изотерму поверхностного натяжения растворов амилового спирта. По уравнению Гиббса рассчитайте избыточную адсорбцию амилового спирта из растворов, указанных концентраций. Постройте изотерму адсорбции  $\Gamma = f(c)$ . Вычислите величину предельной адсорбции  $\Gamma_{\max}$ .

$c$ , кмоль/ $\text{м}^3$	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
---------------------------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

1) Рассчитаем поверхностное натяжение растворов амилового спирта для указанных концентраций  $c$ .

Уравнение Шишковского описывает зависимость поверхностного натяжения от концентрации ПАВ и имеет следующий вид:

$$\sigma = \sigma_0 - V \cdot \ln(1 + K \cdot c) ,$$

где  $\sigma$  – поверхностное натяжение раствора,  $\text{Дж/м}^2$ ;

$\sigma_0$  – поверхностное натяжение чистого растворителя,  $\text{Дж/м}^2$ ;

$V$  – константа для всего гомологического ряда ПАВ, независящая от длины углеводородного радикала;

$c$  – молярная концентрация;

$K$  – константа для данного ПАВ.

Так, при  $c = 0,01 \text{ кмоль/м}^3$  получим:

$$\begin{aligned}\sigma &= \sigma_0 - B \cdot \ln(1 + K \cdot c) = 72,75 \cdot 10^{-3} - 20,22 \cdot 10^{-3} \ln(1 + 46,2 \cdot 0,01) = \\ &= 65,07 \cdot 10^{-3} \text{ Дж/м}^2.\end{aligned}$$

Рассчитанные по данному уравнению значения поверхностного натяжения водных растворов амилового спирта при заданных концентрациях представлены ниже в виде таблицы.

$c,$ кмоль/ $\text{м}^3$	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
$\sigma, 10^{-3}$ Дж/м <sup>2</sup>	72,75	65,07	59,52	55,17	51,59	48,55	45,91	43,57	41,48	39,58

2) По полученным значениям строим изотерму поверхностного натяжения растворов амилового спирта. *Изотерма поверхностного натяжения* – это зависимость поверхностного натяжения раствора ( $\sigma$ ) от концентрации ПАВ ( $c$ ) (рис. 5).

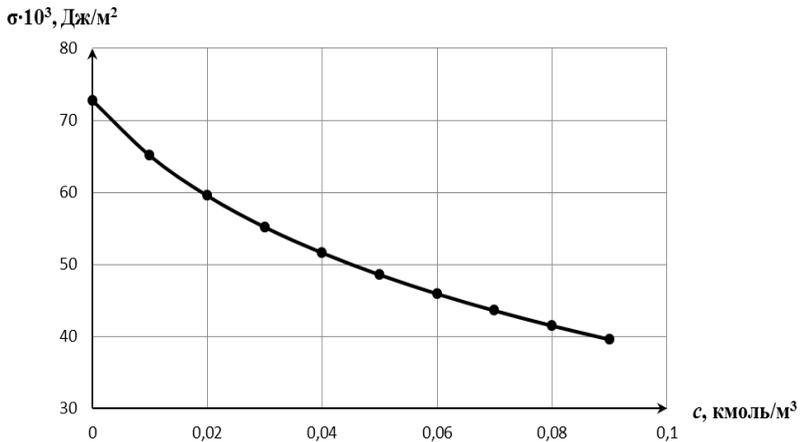


Рис. 5. Изотерма поверхностного натяжения

3) Избыточную адсорбцию амилового спирта из растворов, указанных концентраций рассчитываем по уравнению Гиббса:

$$\Gamma = -\frac{c}{RT} \cdot \left( \frac{d\sigma}{dc} \right),$$

где  $\Gamma$  – избыточная адсорбция, моль/м<sup>2</sup>;

$c$  – молярная концентрация;

$R$  – универсальная газовая постоянная,  $R = 8,31$  Дж/(моль·К);

$T$  – температура, К;

$-\left( \frac{d\sigma}{dc} \right)$  – уменьшение поверхностного натяжения с увеличением концентрации ПАВ.

личением концентрации ПАВ.

Если известны константы уравнения Шишковского  $B$  и  $K$  то уравнение Гиббса можно записать в виде:

$$\Gamma = \frac{B \cdot K}{1 + K \cdot c} \cdot \frac{c}{RT}$$

Пример расчета величины избыточной адсорбции при  $c = 0,01$  кмоль/м<sup>3</sup>:

$$\Gamma = \frac{B \cdot K}{1 + K \cdot c} \cdot \frac{c}{RT} = \frac{20,22 \cdot 10^{-3} \cdot 46,2}{1 + 46,2 \cdot 0,01} \cdot \frac{0,01}{8,31 \cdot 298} = 2,58 \cdot 10^{-6} \text{ моль / м}^2$$

Рассчитанные по данному уравнению значения избыточной адсорбции для указанных концентраций представим в виде таблицы:

$c,$ кмоль/ м <sup>3</sup>	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
$\Gamma, 10^{-6},$ моль/ м <sup>2</sup>	0	2,58	3,92	4,74	5,30	5,70	6,00	6,23	6,42	6,58

4) Полученные данные позволяют нам построить *изотерму адсорбции*, которая представляет собой зависимость избыточной адсорбции от концентрации  $\Gamma = f(c)$  (рис. 6).

5) Константа **B** уравнения Шишковского связана с величиной предельной адсорбции:

$$B = \Gamma_{\max} \cdot RT.$$

Отсюда можно рассчитать величину предельной адсорбции  $\Gamma_{\max}$ :

$$\Gamma_{\max} = B / (RT) = 20,22 \cdot 10^{-3} / (8,31 \cdot 298) = 8,17 \cdot 10^{-6} \text{ моль/м}^2.$$

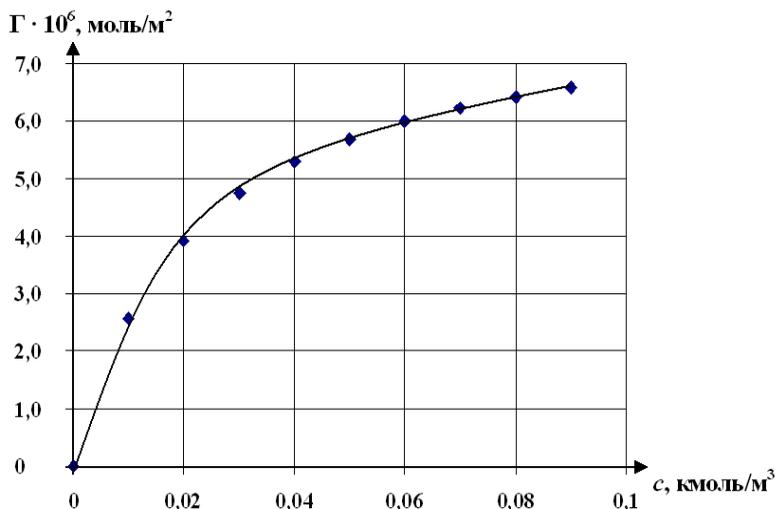


Рис. 6. Изотерма адсорбции

### 2.3. Двойной электрический слой и электрокинетические явления

В коллоидных растворах наблюдаются электрокинетические явления: электрофорез, электроосмос, потенциал течения, потенциал седиментации. Причина их заключена в противоположности знаков зарядов твердой частицы и жидкой дисперсионной среды, другими словами, в существовании на по-

верхности твердой частицы **двойного электрического слоя (ДЭС)**. Важно отметить, что существуют 2 принципиально разных пути его образования:

- избирательная адсорбция поверхностью твердой частицы ионов из дисперсионной среды;
- ионизация поверхностных молекул твердой частицы.

Следует помнить, что избирательная адсорбция ионов осуществляется в соответствии с правилом Панета-Фаянса. Необходимо сформулировать основные положения строения ДЭС: дать определения понятиям «термодинамический» и «электрокинетический» (дзета-) потенциалы, изобразить график изменения потенциала в ДЭС, составить формулу **мицеллы лиофобного золя**. Знак и величина дзета-потенциала определяются:

- величиной термодинамического потенциала и характером изменения потенциала в ДЭС;
- характером движения жидкости вблизи твердой частицы (положение плоскости скольжения).

Необходимо указать факторы, влияющие на величину дзета-потенциала, причины, вызывающие уменьшение его значения до нуля, и изменение его знака (перезарядка).

### **Контрольные вопросы**

8. Понятие об электрокинетических явлениях в гидрозольях. Пути образования ДЭС. Строение ДЭС. Термодинамический и электрокинетический потенциалы.
9. Строение мицеллы гидрофобного золя.
10. Электрокинетический потенциал. Влияние на его величину индифферентного электролита. Перезарядка коллоидной частицы многозарядным индифферентным электролитом.
11. Электрокинетический потенциал. Влияние на его величину неиндифферентного электролита, перезарядка этим электролитом.

## Примеры расчетов

**Пример 1.** Составить формулу мицеллы гидрофобного золя иодида серебра, полученного при взаимодействии иодида калия с избытком нитрата серебра, указать знак заряда коллоидной частицы, изобразить график падения потенциала в двойном электрическом слое  $\varphi = f(r)$ , показать на графике величину электрокинетического потенциала. Назвать электролит, который может вызвать нейтрализационную коагуляцию данного золя.

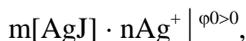
В гидрофобном золе (водном коллоидном растворе) иодид серебра находится в виде микрокристалликов, имеющих размеры от  $10^{-7}$  до  $10^{-5}$  см. Чтобы предотвратить дальнейший их рост, в растворе должен присутствовать стабилизатор. Им является то исходное вещество, которое было взято в избытке в химической реакции получения золя. Оно образует на поверхности микрокристаллов двойной электрический слой, который препятствует дальнейшей их кристаллизации или слипанию, обеспечивая сохранение неизменными их размеры. Твердая частица с двойным электрическим слоем (ДЭС) на своей поверхности называется мицеллой лиофобного золя, а если среда, в которой находится частица, является водой, то она называется мицеллой гидрофобного золя («гидро» - вода).

Рассмотрим подробно образование и строение мицеллы иодида серебра, стабилизированного нитратом серебра.

$m[\text{AgJ}]$  - нерастворимый агрегат иодида серебра (микрокристаллик), где  $m$  - число молекул, его образующих.

ДЭС на его поверхности образует  $\text{AgNO}_3$ , так как в нашем примере именно он взят в избытке. В растворе он распадается на ионы  $\text{Ag}^+$  и  $\text{NO}_3^-$ . Надо решить, какие из этих ионов будут адсорбироваться на поверхности агрегата, т.е. являться **потенциалопределяющими**. Согласно правилу Панета-Фаянса адсорбироваться будут те ионы, которые входят в состав кристаллической решетки агрегата или изоморфны ей. Мы видим,

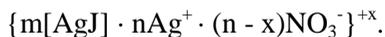
что такими ионами являются ионы  $\text{Ag}^+$ . Именно они способны «достроить» кристаллическую решетку агрегата, поэтому прочно адсорбируются на его поверхности, переходя из жидкой фазы, и придают ей положительный заряд:



где  $n$  - число потенциалопределяющих ионов  $\text{Ag}^+$ .

На поверхности агрегата возникает потенциал, который называется термодинамическим ( $\varphi_0$ ). В жидкой же фазе оказывается избыток противоположно заряженных ионов, которые притягиваются к заряженной поверхности агрегата, образуя слой противоионов. В нашем примере это ионы  $\text{NO}_3^-$ . Общее количество противоионов должно быть таким, чтобы полностью скомпенсировать заряд потенциалопределяющих ионов. Так как по величине заряды их одинаковы (оба однозарядные), то общее количество противоионов равно  $n$ . Слой противоионов имеет сложное строение и состоит из 2 частей: адсорбционного и диффузного слоев.

**Адсорбционный слой** ( $d$ ) имеет толщину, близкую к диаметру противоиона (это несколько  $\text{^\circ A}$ ), и те противоионы, которые попадают в это пространство, называются противоионами адсорбционного слоя. Они связаны с заряженным агрегатом двумя типами сил: электростатическими и адсорбционными силами притяжения так прочно, что образуют с ним единое кинетическое целое (при движении эти ионы не отрываются от агрегата и передвигаются вместе с ним). Число адсорбционных противоионов равно  $(n - x)$ . Это единое кинетическое целое называется **гранулой**, или **коллоидной** частицей, и при написании выделяется фигурными скобками:



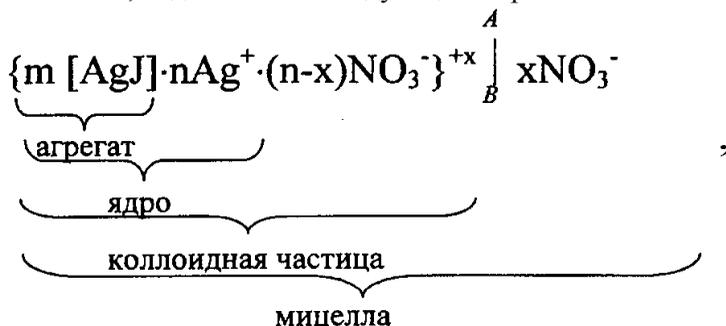
Так как  $(n - x) < n$  на величину  $x$ , коллоидная частица имеет заряд  $+x$ , а на ее поверхности возникает потенциал, который

называется **электрокинетическим** ( $\xi$ ) или дзета-потенциалом. Противоионы адсорбционного слоя распределены равномерно, поэтому уменьшение потенциала в адсорбционном слое происходит линейно и равно  $\varphi_d$ .

**Диффузный слой** ( $\delta$ ) образуют те противоионы, которые находятся от заряженного агрегата на расстоянии больше  $d$ , но в пределах  $\delta$ . Их число равно  $x$ . Эти противоионы притягиваются к агрегату только электростатическими силами, следовательно, менее прочно, чем противоионы адсорбционного слоя (в этом и состоит их отличие). Поэтому при движении агрегата они отрываются от него. На противоионы диффузного слоя, из-за их слабой связи с агрегатом, большое влияние оказывает тепловое движение, это приводит к тому, что противоионы в диффузном слое распространены неравномерно, уменьшение потенциала ( $\xi$ ) в этом слое происходит нелинейно.

Полное изменение потенциала в ДЭС ( $\varphi_0$ ) складывается как сумма  $\varphi_d$  и  $\xi$ . На рис. 7 приведен график падения потенциала в ДЭС.

Формулу мицеллы лиофобного золя, суммируя все вышесказанное, надо записать следующим образом:



где  $m$  - число молекул  $\text{AgJ}$ , из которых состоит твердый агрегат;

$n\text{Ag}^+$  - число потенциалопределяющих ионов;

$(n-x)\text{NO}_3^-$  - число противоионов адсорбционного слоя;

$x\text{NO}_3^-$  - число противоионов диффузного слоя.

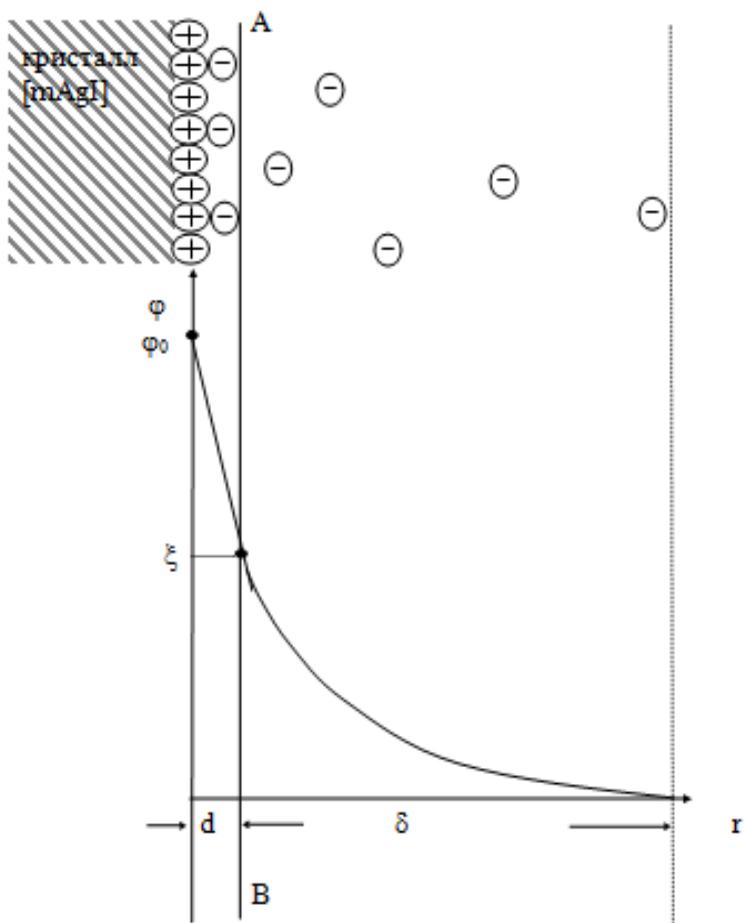


Рис 7. Схема строения мицеллы золя AgI и падение потенциала с увеличением расстояния от кристалла:

$\varphi_0$  - термодинамический потенциал ДЭС;  $\xi$  - электрокинетический потенциал ДЭС;

AB - граница скольжения (плоскость скольжения)

Мицелла является электронейтральной: число положительных зарядов равно  $n$  и число отрицательных - тоже  $n$  ( $n - x + x = n$ ).

При движении мицелла разрывается по плоскости скольжения фаз (линия АВ), образуя коллоидную частицу и диффузные противоионы. Заряд коллоидной частицы равен по величине суммарному заряду диффузных противоионов, но противоположен по знаку. В нашем примере он равен  $+x$ .

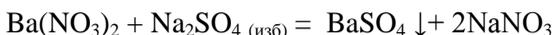
Величиной, характеризующей устойчивость коллоидного раствора, является дзета-потенциал. На его значение влияют следующие факторы: изменение рН, концентрации раствора, температуры, введение в систему электролитов и т.д. Например, при введении в коллоидную систему электролитов происходит нарушение агрегативной устойчивости коллоидного раствора, в результате чего происходит слипание частиц дисперсной фазы с образованием крупных агрегатов. Этот процесс называют **коагуляцией**.

Электролит, ионы которого способны дотраивать кристаллическую решетку твердой частицы, называют **неиндифферентным**. Введение в систему даже небольшого количества неиндифферентного электролита приводит к связыванию потенциалобразующих ионов в малорастворимое соединение, а, следовательно, к уменьшению абсолютных величин термодинамического и дзета-потенциала вплоть до нуля. Так как причиной коагуляции в данном случае является *нейтрализация* потенциалобразующих ионов, то такую коагуляцию называют **нейтрализационной**. Для полной нейтрализационной коагуляции неиндифферентный электролит должен быть добавлен в строго эквивалентном количестве.

В нашем случае нейтрализационную коагуляцию золя иодида серебра способен вызвать неиндифферентный электролит, например тот, который был взят по реакции в недостатке, т.е. иодид калия KI.

**Пример 2.** Составить формулу мицеллы гидрофобного золя сульфата бария, полученного при взаимодействии нитрата бария с избытком сульфата натрия, указать знак заряда коллоидной частицы, изобразить график падения потенциала в двойном электрическом слое  $\varphi = f(r)$ , показать на графике величину электрокинетического потенциала. Назвать электролит, который может вызвать нейтрализационную коагуляцию данного золя.

Образование мицеллы золя сульфата бария происходит в результате взаимодействия нитрата бария с избытком сульфата натрия:

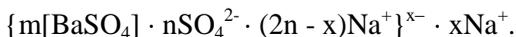


Так как сульфат натрия взят в избытке, следовательно, раствор  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  будет являться электролитом-стабилизатором, ионы которого образуют ДЭС (подробное описание см. в примере 1):



В соответствии с правилом Панета-Фаянса, ионы  $\text{SO}_4^{2-}$  будут являться потенциалопределяющими ионами, тогда ионы  $\text{Na}^+$  будут противоионами. Если в образовании мицеллы участвуют многозарядные ионы, то необходимо обратить внимание на число противоионов, учитывая, что мицелла является электронеутральной.

Формулу мицеллы следует записать следующим образом:



где  $m$  - количество молекул  $\text{BaSO}_4$ , образующих агрегат;  
 $n\text{SO}_4^{2-}$  - число потенциалопределяющих ионов, адсорбированных на поверхности агрегата;  
 $(2n-x)\text{Na}^+$  - число противоионов адсорбционного слоя;  
 $x\text{Na}^+$  - число противоионов диффузного слоя;  
 $x^-$  - заряд коллоидной частицы.

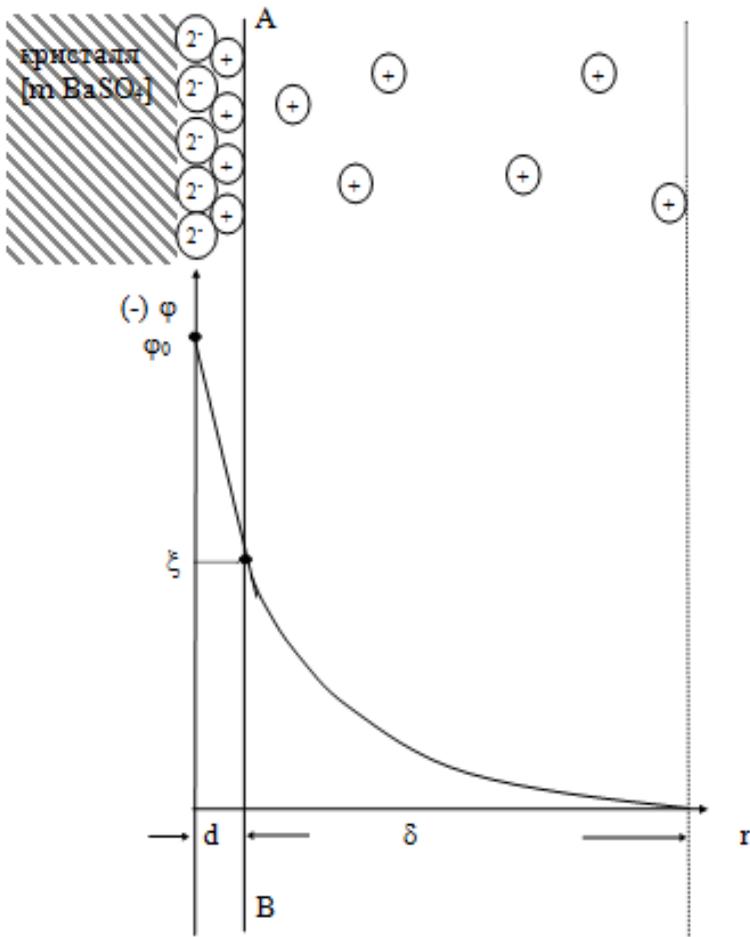


Рис 8. Схема строения мицеллы золя  $\text{BaSO}_4$  и падение потенциала с увеличением расстояния от кристалла:  
 $\phi_0$  - термодинамический потенциал ДЭС;  
 $\xi$  - электрокинетический потенциал ДЭС;  
 АВ - граница скольжения (плоскость скольжения)

График падения потенциала в двойном электрическом слое  $\varphi = f(r)$  приведен на рисунке 8.

Нейтрализационную коагуляцию золя сульфата бария вызовет неиндифферентный электролит, который был взят в недостатке:  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ .

## 2.4. Получение дисперсных систем и их очистка

При изучении этого раздела необходимо рассмотреть получение дисперсных систем различными методами: физической и химической конденсацией, дроблением. Необходимо ознакомиться с методами дробления: механическое дробление, коллоидные мельницы, дробление ультразвуком и в вольтовой дуге. Рассмотреть пептизацию как метод получения зелей, способы пептизации. Самопроизвольное диспергирование. Роль стабилизатора в процессе получения дисперсных систем.

При изучении способов очистки дисперсных систем следует обратить внимание на диализ, электродиализ, ультрафильтрацию, мембранные технологии и их применение в пищевой промышленности.

### Контрольные вопросы

12. Классификация методов получения дисперсных систем.
13. Конденсационные методы получения дисперсных систем.
14. Диспергационные методы получения дисперсных систем.
15. Методы очистки дисперсных систем.
16. Мембранная технология и ее применение в пищевой промышленности.

## 2.5. Молекулярно-кинетические и оптические свойства

К молекулярно-кинетическим свойствам коллоидных систем относятся броуновское движение, диффузия, осмотическое давление.

Установлено, что частицы коллоидных и микроскопических размеров находятся в непрерывном беспорядочном (хао-

тичном), не затухающем во времени движении, которое получило название «броуновское движение». Важно понять его природу, знать, что количественно броуновское движение оценивается величиной среднего квадратичного сдвига частицы ( $\Delta\bar{X}^2$ ), который не только измеряется, но и рассчитывается на основе статистической теории Эйнштейна-Смолуховского. Следствием броуновского движения является диффузия, которая характеризуется коэффициентом диффузии ( $D$ ), зависящим от вязкости дисперсионной среды ( $\eta$ ), температуры и радиуса частиц ( $r$ ), по уравнению:

$$D = \frac{kT}{6\pi\eta r} ,$$

где  $k$  - постоянная Больцмана.

Количественную связь диффузии и броуновского движения устанавливает уравнение:

$$\Delta\bar{X}^2 = 2D\tau ,$$

где  $\tau$  - время, в течение которого ведется наблюдение за движением частиц, мин.

Броуновское движение коллоидных частиц в гравитационном поле приводит к установлению седиментационно-диффузионного равновесия: частицы дисперсной фазы относительно поверхности Земли распределяются в соответствии с законом Лапласа-Перрена:

$$v_h = v_0 \cdot e^{-A \cdot h} , \quad A = \frac{4 \cdot \pi r^3 (\rho - \rho_0)}{3 \cdot kT} ,$$

где  $v_0$  и  $v_h$  - соответственно концентрация частиц у дна сосуда и на высоте  $h$  от него;

$\rho$  и  $\rho_0$  - соответственно плотности частиц и среды,  $\text{кг/м}^3$ .

Из этого закона следует, что распределение частиц по высоте сосуда является экспоненциальным.

Коллоидные растворы обнаруживают осмотическое давление, которое рассчитывается по уравнению:

$$P_{\text{осм}} = \nu \cdot k \cdot T.$$

Так как  $\nu$  - концентрация частиц невелика, то и осмотическое давление в коллоидных растворах намного меньше, чем в истинных растворах такой же массовой концентрации.

Изучая оптические свойства, необходимо понять, почему светорассеяние белого (солнечного) света присуще только коллоидным растворам, узнать, для каких коллоидных растворов используется уравнение Релея, уметь его проанализировать. Следует ознакомиться с оптическими методами исследования: фотонейфелометрией, турбодиметрией, ультрамикроскопией, электронной микроскопией.

### Контрольные вопросы

17. Броуновское движение. Статистическая теория броуновского движения. Диффузия. Осмотическое давление.
18. Рассеяние света. Уравнение Релея, его анализ. Оптические методы исследования коллоидных растворов: фотонейфелометрия, турбодиметрия, ультрамикроскопия, электронная микроскопия.

## 2.6. Стабилизация и коагуляция дисперсных систем

При изучении этого раздела надо исходить из того, что дисперсные системы (в отличие от гомогенных) являются принципиально (термодинамически) неустойчивыми. Они обладают только относительной устойчивостью, которая подразделяется на два вида: **седиментационную** (кинетическую) и **агрегативную**.

Надо четко понять, в чем заключается седиментационная устойчивость и в чем - агрегативная, каким образом они могут быть достигнуты.

Необходимо знать 5 факторов устойчивости: электростатический; адсорбционно-солеватный; структурно-

механический; энтропийный; гидродинамический. Знать, в чем они заключаются.

При нарушении агрегативной устойчивости происходит **коагуляция** - слипание частиц. Необходимо изучить закономерности коагуляции, обратить особое внимание на правила коагуляции электролитами, научиться различать нейтрализационную и концентрационную коагуляции. Усвоить основные положения теории ДЛФО и то, как эта теория объясняет коагуляцию электролитами. Рассмотреть коагуляцию смесями электролитов: их аддитивное действие, антагонизм, синергизм, принципы коллоидной защиты, явление сенсбилизации.

### Контрольные вопросы

19. Седиментационная устойчивость коллоидных растворов. Седиментационно-диффузионное равновесие, уравнение Лапласа-Перрена.
20. Агрегативная устойчивость. Коагуляция. Причины, вызывающие коагуляцию. Правила коагуляции электролитами.
21. Теория быстрой коагуляции Смолуховского. Медленная коагуляция. Факторы устойчивости коллоидных растворов.
22. Теория ДЛФО. Потенциальный барьер коагуляции и его зависимость от величины электрокинетического потенциала. Нейтрализационная и концентрационная коагуляция лиофобного золя электролитами.
23. Коагуляция смесью электролитов. Антагонизм и синергизм электролитов. Коллоидная защита. Золотое число. Сенсбилизация.

### Пример расчета

**Пример.** Порог коагуляции ( $c_k$ ) гидрозоля золота с отрицательно заряженными коллоидными частицами под действием КСl равен  $2,30 \cdot 10^{-2}$  кмоль/м<sup>3</sup>. С помощью правила Шульце-Гарди рассчитать для этого золя пороги коагуляции электролитами AlCl<sub>3</sub> и ZnSO<sub>4</sub>.

Вспомним некоторые, необходимые для решения задачи, правила коагуляции электролитами:

1. Все сильные электролиты, добавленные в достаточном количестве, вызывают коагуляцию золя. Минимальная концентрация электролита, при которой начинается коагуляция золя, называется **порогом коагуляции** ( $c_k$ ).
2. Коагулирующим действием обладает не весь электролит, а только тот его ион, заряд которого одинаков по знаку с зарядом противоиона мицеллы или противоположен знаку заряда коллоидной частицы. Этот ион называется **ионом-коагулянтом**.
3. Коагулирующая способность иона зависит от величины его заряда. Чем больше заряд иона, тем больше его коагулирующая способность, а значит, меньше порог коагуляции ( $c_k$ ). Количественно эта закономерность описывается эмпирическим правилом Шульце-Гарди:

$$c_k^I : c_k^{II} : c_k^{III} = 1 : \frac{1}{2^6} : \frac{1}{3^6} \quad \text{или} \quad c_k = \frac{V}{Z^6},$$

где  $V$  - постоянная для данного золя величина, не зависящая от природы иона-коагулянта;

$c_k^I, c_k^{II}, c_k^{III}$  - соответственно пороги коагуляции одно-, двух и трехзарядных ионов-коагулянтов, кмоль/м<sup>3</sup>.

В первую очередь для заданных электролитов необходимо установить ионы, которые обладают коагулирующим действием. Так как коллоидная частица гидрозоль золота имеет отрицательный заряд, то такими ионами будут катионы, для соли  $KCl$  - однозарядный катион  $K^+$ , для соли  $ZnSO_4$  - двухзарядный катион  $Zn^{2+}$ , для соли  $AlCl_3$  - трехзарядный катион  $Al^{3+}$ .

Следовательно, порог коагуляции  $ZnSO_4$  ( $C_k^{\text{II}}$ ) в 64 раза меньше порога коагуляции  $KCl$  ( $C_k^{\text{I}}$ ):

$$C_{k,ZnSO_4}^{\text{II}} = \frac{c_k^{\text{I}}}{64} = \frac{2,3 \cdot 10^{-2}}{64} = 3,59 \cdot 10^{-4} \text{ кмоль/м}^3,$$

а порог коагуляции  $AlCl_3$  ( $C_k^{\text{III}}$ ) в 729 раз меньше, чем  $C_k^{\text{I}}$   $KCl$ .

$$C_{k,AlCl_3}^{\text{III}} = \frac{c_k^{\text{I}}}{729} = \frac{2,3 \cdot 10^{-2}}{729} = 3,15 \cdot 10^{-5} \text{ кмоль/м}^3$$

*Ответ:*  $C_k(AlCl_3) = 3,15 \cdot 10^{-5} \text{ кмоль/м}^3$ ;  
 $C_k(ZnSO_4) = 3,59 \cdot 10^{-4} \text{ кмоль/м}^3$ .

## 2.7. Структурообразование в дисперсных системах

Структура - это пространственное взаимное расположение дисперсных частиц системы. Ребиндер предложил структурированные дисперсные системы подразделять, исходя из характера межчастичных взаимодействий, на два типа: **коагуляционные** (тиксотропно-обратимые) и **конденсационно-кристаллиза-ционные** (необратимо разрушающиеся) структуры. Наиболее характерные свойства коагуляционных структур: тиксотропия, синерезис, небольшая механическая прочность, ползучесть, пластичность, набухание. Необходимо разобраться, в чем заключаются эти свойства, отметить факторы, которые влияют на гелеобразование и основными из которых являются: концентрация частиц дисперсной фазы, их размеры и форма, температура, механическое воздействие.

В отличие от коагуляционных структур конденсационно-кристаллиза-ционные структуры обладают упруго-хрупкими

свойствами. Эти структуры характерны для связнодисперсных систем с твердой дисперсионной средой. Такие структуры придают телам прочность, хрупкость и не восстанавливаются после разрушения.

Появление и характер образующихся структур определяют по структурно-механическим свойствам систем, таким как: вязкость, упругость, пластичность, прочность. Необходимо рассмотреть кривые течения различных структурированных систем (жидкообразных и твердообразных).

### **Контрольные вопросы**

24. Структурообразование в дисперсных системах. Коагуляционные структуры, их свойства. Тиксотропия. Синерезис.
25. Структурообразование в дисперсных системах. Конденсационно-кристал-лизационные структуры, их свойства.

### **2.8. Микрогетерогенные системы с жидкой дисперсионной средой**

Дисперсионные системы, в которых частички дисперсной фазы больше, чем  $10^{-5}$  см вплоть до  $10^{-2}$  см, называются **микрогетерогенными**. Условно они обозначаются в виде дроби, в числителе которой указывается агрегатное состояние фазы, а в знаменателе - среды: Ф/С.

К микрогетерогенным системам с жидкой дисперсионной средой относятся: суспензии (Т/Ж); эмульсии (Ж/Ж); пены (Г/Ж).

Изучая микрогетерогенные системы, полезно придерживаться следующей схемы:

- дать определение данной системы;
- проанализировать классификацию;
- рассмотреть методы получения;
- рассмотреть основные свойства;
- обратить внимание на проблемы устойчивости, отметить, какие вещества используются в качестве стабилизаторов

этих систем, какие способы используются для разрушения данных систем;

- определить области распространения и применения соответствующих систем, обязательно указать применение их в пищевой промышленности, приведя соответствующие примеры.

### **Контрольные вопросы**

26. Суспензии, классификация, методы получения, свойства, агрегативная устойчивость, стабилизаторы суспензий, методы разрушения суспензий. Суспензии в пищевой промышленности.
27. Эмульсии, классификация, методы получения, свойства. Способы определения типа эмульсии, обращение фаз эмульсий, типы эмульгаторов, зависимость типа эмульсии от природы эмульгаторов. Способы разрушения эмульсий. Эмульсии в пищевой промышленности.
28. Пены, структура, классификация, методы получения, основные характеристики пен, пенообразователи. Методы разрушения пен. Пены в пищевой промышленности.

## **2.9. Системы с газообразной дисперсионной средой**

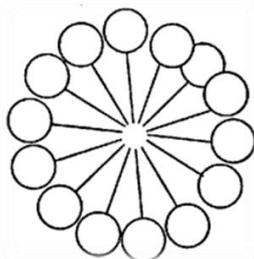
К этим системам относятся аэрозоли (Т/Г - пыли, дымы и Ж/Г - туманы) и порошки (Т/Г). При их изучении полезно воспользоваться рекомендациями, данными в предыдущем разделе.

### **Контрольные вопросы**

29. Аэрозоли, классификация, методы получения, устойчивость аэрозолей: седиментационная и агрегативная, методы разрушения аэрозолей. Практическое применение аэрозолей.
30. Порошки, классификация, методы получения, характерные свойства порошка: способность к течению и распылению, флуидизация, гранулирование, слеживание. Порошки в пищевой промышленности.

## 2.10. Коллоидные поверхностно-активные вещества

Коллоидные поверхностно-активные вещества (ПАВ) - это вещества, содержащие больше 8-10 атомов углерода в углеводородном радикале, которые не только снижают поверхностное натяжение на границе раздела фаз, но при достижении определенных концентраций способны к самопроизвольному мицеллообразованию, т.е. к образованию новой фазы. Концентрация ПАВ, после достижения которой в растворе образуется сразу много сферических мицелл, **называется критической концентрацией мицеллообразования (ККМ)**. Эти мицеллы обычно называют мицеллами Гартли. Внутренняя часть мицелл Гартли состоит из переплетающихся углеводородных радикалов, полярные группы молекул ПАВ обращены в водную фазу:



H<sub>2</sub>O

Рис. 9. Мицелла Гартли в водном растворе

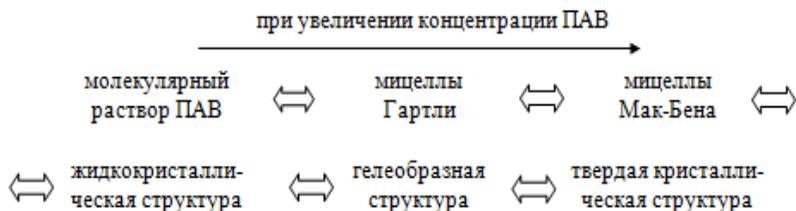
Диаметр мицелл Гартли равен удвоенной длине молекулы ПАВ. Мицеллы Гартли характеризуют *числом агрегации* (ассоциации) и *мицеллярной массой*. Число молекул ПАВ, составляющих мицеллу, называется *числом агрегации N*. Сумма молекулярных масс всех молекул в мицелле Гартли называется *мицеллярной массой*. Зная мицеллярную массу, можно определить число агрегации.

В этой главе необходимо ознакомиться с классификацией ПАВ, научиться приводить соответствующие примеры, изучить основные свойства водных растворов ПАВ:

- 1) способность значительно снижать поверхностное натяжение на границе раздела фаз;
- 2) способность к самопроизвольному мицеллообразованию;
- 3) солюбилизацию.

Необходимо указать методы определения ККМ и факторы, влияющие на ее величину.

Следует понимать, что состояние ПАВ в растворе в первую очередь зависит от его концентрации, с изменением которой происходят обратимые переходы:



Необходимо ознакомиться с областями применения коллоидных ПАВ, отметив особо использование их в пищевой промышленности.

### Контрольные вопросы

30. Коллоидные ПАВ, их классификация. Свойства водных растворов коллоидных ПАВ. ККМ, методы определения ККМ, факторы, влияющие на величину ККМ. Строение мицелл коллоидного ПАВ. Применение коллоидных ПАВ.

### Пример расчета

**Пример.** Рассчитать мицеллярную молекулярную массу ПАВ в водном растворе по результатам определения коэффициента диффузии растворенного вещества. Коэффициент диффузии мицелл ПАВ при температуре 293 К равен  $D = 1,2 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{с}$ , вязкость среды  $\eta = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ . Плотность ПАВ  $\rho = 0,95 \cdot 10^6 \text{ г/м}^3$ , относительная моле-

кулярная масса ПАВ  $M_r = 134$ . Вычислить среднее число агрегации мицелл.

Для расчета мицеллярной молекулярной массы методом диффузии используют уравнение Эйнштейна-Перрена:

$$M = \frac{\rho}{162 \cdot (\pi \cdot N_A)^2} \cdot \left( \frac{R \cdot T}{\eta \cdot D} \right)^3,$$

где  $M$  – молекулярная масса мицелл ПАВ;

$\rho$  - плотность ПАВ, выраженная в  $\text{г/м}^3$ ;

$N_A$  – число Авогадро;

$R$  – универсальная газовая постоянная,

$R=8,31$  Дж/(моль·К);

$T$  – температура, К;

$\eta$  - вязкость среды, Па·с;

$D$  - коэффициент диффузии мицелл,  $\text{м}^2/\text{с}$ .

$$M = \frac{0,95 \cdot 10^6}{162 \cdot (3,14 \cdot 6,02 \cdot 10^{23})^2} \cdot \left( \frac{8,31 \cdot 293}{1 \cdot 10^{-3} \cdot 1,2 \cdot 10^{-10}} \right)^3 = 1,37 \cdot 10^4 \text{ г / моль}$$

Средние числа агрегации  $N$  (количество молекул ПАВ, объединенных в мицеллу) можно рассчитать как отношение мицеллярной молекулярной массы к молекулярной массе ПАВ:

$$N = \frac{M}{M_r},$$

где  $M_r$  - относительная молекулярная масса ПАВ.

$$N = \frac{1,37 \cdot 10^4}{134} = 102$$

*Ответ:*  $M = 1,37 \cdot 10^4$  г/моль;  $N = 102$ .

## 2.11. Физико-химические свойства полимеров и их растворов

При изучении этого раздела следует отметить две особенности строения полимеров:

- 1) наличие в молекулах двух различных типов связи:
  - химической связи, соединяющей атомы в полимерной цепи (энергия ее порядка сотен кДж/моль);
  - межмолекулярной связи, соединяющей между собой полимерные цепи и звенья (энергия ее порядка единиц или десятков кДж/моль);
- 2) гибкость цепей, обусловленная внутренним вращением звеньев.

Надо понимать, что растворение высокомолекулярных соединений (ВМС) обязательно идет через самопроизвольный процесс **набухания**, знать, из каких стадий он состоит, какие факторы на него влияют, в каких случаях наблюдается ограниченное, а в каких - неограниченное набухание.

Необходимо знать, что одним из важнейших параметров ВМС является его молекулярная масса, а все методы ее определения основаны на исследовании свойств макромолекул в растворе. Реальные молекулы ВМС (макромолекулы) всегда характеризуются величиной некоторой усредненной молекулярной массы. При этом различные методы определения молекулярной массы дают разные ее числовые значения. Основными методами определения молекулярной массы полимеров являются методы осмометрии, диффузии, светорассеяния и измерения вязкости.

Наиболее распространенным, благодаря своей простоте, является метод вискозиметрии. С молекулярной массой ВМС связана характеристическая вязкость  $[\eta]$  – вязкость, не зависящая от состояния макромолекул и природы растворителя и не включающая взаимодействия между макромолекулами. Эта связь выражается уравнением Марка-Хаувинка:

$$[\eta] = K \cdot M^{\alpha},$$

где  $M^{\alpha}$  - средняя молекулярная масса полимера,

$K$  – константа, характеризующая систему полимер – растворитель.

Следует обратить внимание на свойства растворов полиэлектролитов, особенно на свойства растворов белков. Необходимо знать, что называется **изоэлектрической точкой белка** и какие существуют методы ее определения.

Необходимо рассмотреть процесс образования студней, отметить факторы, влияющие на студнеобразование: форму, размеры и концентрацию макромолекул, время, температуру, рН среды, присутствие индифферентных электролитов. Изучить свойства студней. Сформулировать роль студней и студнеобразования в пищевой промышленности.

### Контрольные вопросы

31. ВМС, основные особенности строения молекул полимера. Набухание, степень набухания, зависимость набухания от состава и строения полимера, стадии набухания.
32. Полиэлектролиты. Изоэлектрическая точка белка. Влияние рН среды на устойчивость белковых растворов. Методы определения изоэлектрической точки белка.
33. Студни. Студнеобразование. Отличие студней от гелей. Факторы, влияющие на студнеобразование. Свойства студней.

### Примеры расчетов

**Пример 1.** Определить молекулярную массу ( $M$ ) синтетического каучука, если известно, что характеристическая вязкость его раствора в хлороформе  $[\eta] = 0,0215 \text{ м}^3/\text{кг}$ , константы уравнения Марка-Хаувинка  $K = 1,85 \cdot 10^{-5}$  и  $\alpha = 1,56$ .

Для нахождения молекулярной массы используем уравнение Марка-Хаувинка:

$$[\eta] = K \cdot M^\alpha,$$

где  $[\eta]$  - характеристическая вязкость, которая отражает гидродинамическое сопротивление потоку молекул данного полимера. Она определяется предельным значением следующего выражения при бесконечном разбавлении.

$$[\eta] = \lim_{c \rightarrow 0} \left[ \frac{\eta - \eta_0}{\eta_0} \cdot \frac{1}{c} \right] = 0,0215 \text{ м}^3/\text{кг},$$

где  $\eta$  - вязкость раствора;

$\eta_0$  - вязкость чистого растворителя - хлороформа;

$c$  - концентрация раствора, кг/м<sup>3</sup>.

Для расчета молекулярной массы полимера прологарифмируем уравнение Марка-Хаувинка:

$$\lg[\eta] = \lg K + \alpha \cdot \lg M$$

и решим относительно  $\lg M$ :

$$\lg M = \frac{\lg[\eta] - \lg K}{\alpha} = \frac{\lg 0,0215 - \lg 1,85 \cdot 10^{-5}}{0,56}.$$

Следовательно,  $M = 3 \cdot 10^5 = 300000$ .

**Пример 2.** Рассчитать молекулярную массу поливинилового спирта в водном растворе по результатам определения коэффициента диффузии макромолекул. Коэффициент диффузии при температуре 293 К равен  $D = 1,1 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{с}$ , вязкость среды  $\eta = 9,5 \cdot 10^{-4} \text{ Па} \cdot \text{с}$ . Плотность вещества  $\rho = 1,1 \cdot 10^6 \text{ г}/\text{м}^3$ . Форму макромолекул считать сферической.

Коэффициент диффузии ( $D$ ) – это количественная мера процесса диффузии. Он зависит от вязкости дисперсионной среды ( $\eta$ ), температуры и радиуса частиц ( $r$ ). Для сферических частиц коэффициент диффузии рассчитывается по уравнению Эйнштейна-Стокса:

$$D = \frac{RT}{N_A} \cdot \frac{1}{6\pi\eta r} .$$

Согласно уравнению Перрена, молекулярная масса макромолекул полимера:

$$M = m \cdot N_A = V \cdot \rho \cdot N_A = \frac{4}{3} \pi r^3 \cdot \rho \cdot N_A .$$

Объединив уравнения Эйнштейна-Стокса и Перрена, получим формулу для расчета молекулярной массы, называемую уравнением Эйнштейна-Перрена:

$$M = \frac{\rho}{162 \cdot (\pi \cdot N_A)^2} \cdot \left( \frac{R \cdot T}{\eta \cdot D} \right)^3 ,$$

где  $M$  – молекулярная масса макромолекул полимера;

$\rho$  - плотность диспергированного вещества, выраженная в  $\text{г/м}^3$ ;

$N_A$  – число Авогадро;

$R$  – универсальная газовая постоянная,  
 $R=8,31 \text{ Дж/(моль}\cdot\text{К)}$ ;

$T$  – температура,  $\text{К}$ ;

$\eta$  - вязкость среды,  $\text{Па}\cdot\text{с}$ ;

$D$  - коэффициент диффузии,  $\text{м}^2/\text{с}$ .

$$M = \frac{1,1 \cdot 10^6}{162 \cdot (3,14 \cdot 6,02 \cdot 10^{23})^2} \cdot \left( \frac{8,31 \cdot 293}{9,5 \cdot 10^{-4} \cdot 1,1 \cdot 10^{-10}} \right)^3 = 2,26 \cdot 10^4 \text{ г/моль}$$

*Ответ:*  $M = 2,26 \cdot 10^4 \text{ г/моль}$ .

### 3. ВЫПОЛНЕНИЕ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Контрольная работа состоит из 3 теоретических вопросов и 5 задач (таблица 1). Номер варианта контрольной работы соответствует двум последним цифрам номера зачетной книжки студента. Если это число больше 25, 50, 75, тогда от этого числа нужно отнять соответственно 25, 50, 75. В контрольных работах должны быть приведены полностью условия задач и текст вопросов.

Таблица 1

Варианты контрольных работ

Варианты	Номера теоретических вопросов	Номера задач
1	1, 17, 25	1.1, 4.1, 7.1, 8.1, 9.1
2	2, 19, 33	2.1, 4.2, 7.2, 8.2, 10.1
3	3, 14, 29	3.1, 4.3, 7.3, 8.3, 11.1
4	4, 22, 33	1.2, 4.4, 7.4, 8.4, 9.2
5	5, 21, 32	2.2, 4.5, 7.5, 8.5, 10.2
6	6, 18, 31	3.2, 4.6, 7.6, 8.6, 11.2
7	7, 17, 30	1.3, 4.7, 7.7, 8.7, 9.3
8	8, 15, 28	2.3, 4.8, 7.8, 8.8, 10.3
9	9, 16, 27	3.3, 4.9, 7.9, 8.9, 11.3
10	3,10, 26	1.4, 5.1, 7.10, 8.10, 9.4
11	11, 22, 31	2.4, 5.2, 7.11, 8.11, 10.4
12	12, 19, 26	3.4, 5.3, 7.12, 8.12, 11.4
13	5, 13, 32	1.5, 5.4, 7.13, 8.13, 9.5
14	14, 22, 29	2.5, 5.5, 7.14, 8.14, 10.5
15	15, 20, 30	3.5, 5.6, 7.15, 8.15, 11.5
16	6, 16, 33	1.6, 5.7, 7.16, 8.16, 9.6
17	17, 19, 31	2.6, 5.8, 7.17, 8.17, 10.6

18	3, 18, 26	3.6, 6.1, 7.18, 8.18, 11.6
19	7, 19, 28	1.7, 6.2, 7.19, 8.19, 9.7
20	2, 20, 30	2.7, 6.3, 7.20, 8.20, 11.7
21	17, 21, 33	3.7, 6.4, 7.21, 8.21, 9.8
22	8, 22, 32	1.8, 6.5, 7.22, 8.22, 11.8
23	14, 23, 27	2.8, 6.6, 7.23, 8.23, 9.9
24	17, 24, 31	3.8, 6.7, 7.24, 8.24, 11.9
25	6, 8, 25	2.9, 6.8, 7.25, 8.25, 11.10

**Задача 1.** В соусах диаметр капле эмульсии масла зависит от способа приготовления и при ручном взбалтывании составляет  $d_p$  мкм, а при машинном перемешивании –  $d_m$  мкм. Определить дисперсность ( $D$ ), удельную поверхность дисперсной фазы ( $S_{уд}$ ), если плотность масла равна  $\rho$  кг/м<sup>3</sup> (таблица 2).

Таблица 2

## Исходные данные

№	$d_p \cdot 10^6$ , м	$d_m \cdot 10^6$ , м	$\rho \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>
1.1	20	4	1,3
1.2	25	5	1,1
1.3	15	4	1,2
1.4	18	6	1,5
1.5	30	10	2,3
1.6	16	3	1,2
1.7	23	5	1,4
1.8	22	8	1,6

**Задача 2.** На пакетах молока указано, что содержание жира составляет  $v_{об.}$ . Определить объем дисперсной фазы ( $V_{д.ф.}$ ) в упаковке вместимостью  $V_{д.с.}$ , л и численную концентрацию дисперсной фазы ( $v_q$ ), если диаметр жировых капле равен  $d$  мкм (таблица 3).

Таблица 3

## Исходные данные

№	$v_{об.}, \%$	$V_{д.с.}, л$	$d \cdot 10^6, м$
2.1	2,8	1	80
2.2	3,2	1	85
2.3	3,5	0,5	87
2.4	2,5	1	79
2.5	1,5	0,5	83
2.6	1,0	1	76
2.7	4,0	0,5	90
2.8	3,8	1	86
2.9	3,4	0,5	82

**Задача 3.** Численная концентрация пыли в воздухе рабочих зон помещений составляет ( $v_n$ )  $м^{-3}$ . Определить массовую концентрацию пыли ( $v_m$ ), если средний диаметр частиц составляет  $d$  мкм, а их плотность  $\rho$   $кг/м^3$  (таблица 4).

Таблица 4

## Исходные данные

№	$v_m \cdot 10^{-8}, м^{-3}$	$d \cdot 10^6, м$	$\rho \cdot 10^{-3}, кг/м^3$
3.1	2,2	3,8	1,1
3.2	2,8	4,0	1,2
3.3	2,1	4,2	1,5
3.4	2,5	3,2	1,0
3.5	1,2	3,4	1,1
3.6	1,7	3,0	1,3
3.7	2,6	4,4	1,2
3.8	1,9	4,6	1,4

**Задача 4.** По экспериментальным данным адсорбции адсорбтива **A** на адсорбенте **B**, представленным в таблице 5, построить изотерму адсорбции при температуре  $T$  (К). Графическим путем определить константы уравнения Ленгмюра ( $\alpha_{\infty}$  и  $K$ ).

**Задача 5.** По экспериментальным данным адсорбции адсорбтива **A** на адсорбенте **B**, представленным в таблице 6, построить изотерму адсорбции при температуре  $T$  (К). Графическим путем определить константы эмпирического уравнения Фрейндлиха ( $\beta$  и  $1/n$ ).

**Задача 6.** Уравнение Шишковского имеет следующий вид:

$$\sigma = \sigma_0 - B \cdot \ln(1 + K \cdot c).$$
 Для водных растворов ПАВ при температуре  $T$  известны константы  $\sigma_0$ ,  $B$ ,  $K$  (таблица 7). Рассчитайте поверхностное натяжение растворов ПАВ для концентраций  $c$  (табл. 7). Постройте изотерму поверхностного натяжения растворов ПАВ. По уравнению Гиббса рассчитайте избыточную адсорбцию ПАВ из растворов, указанных концентраций. Постройте изотерму адсорбции  $\Gamma = f(c)$ . Вычислите величину предельной адсорбции  $\Gamma_{\max}$ .

**Задача 7.** Для гидрофобного золя вещества **C**, полученного при взаимодействии избытка вещества **B** с веществом **A** (см. таблицу 8), составить формулу мицеллы, указать знак заряда коллоидной частицы, изобразить график падения потенциала в двойном электрическом слое  $\varphi = f(r)$ , показать на графике величину электрокинетического потенциала. Назвать электролит, который может вызвать нейтрализационную коагуляцию данного золя.

Таблица 5

## Экспериментальные данные адсорбции

№	А	В	Т, К	Экспериментальные данные						
				$P \cdot 10^{-2}$ , Па						
4.1	паров воды	силика- геле	298	$P \cdot 10^{-2}$ , Па	3,0	4,7	7,7	11,7	14,0	17,8
				$\alpha$ , моль/кг	4,4	6,3	9,2	11,7	13,2	14,9
4.2	бензола	саже	273	$P$ , Па	1,0	1,3	1,7	2,5	6,7	
				$\alpha \cdot 10^2$ , моль/кг	1,6	1,9	2,6	3,5	7,6	
4.3	азота	угле	200	$P \cdot 10^{-3}$ , Па	1,9	6,1	18,0	33,7	68,9	
				$\alpha$ , моль/кг	0,2	0,6	1,1	1,5	1,8	
4.4	метана	саже	113	$P \cdot 10^{-2}$ , Па	0,4	0,7	1,2	1,6	2,8	7,3
				$\alpha \cdot 10^3$ , моль/кг	7,5	15	30	50	80	100
4.5	бензола	саже	290	$P$ , Па	1,0	1,3	1,7	2,5	6,7	
				$\alpha \cdot 10^3$ , кг/кг	1,2	1,5	2,0	2,7	5,9	
4.6	СО <sub>2</sub>	угле	298	$P \cdot 10^{-2}$ , Па	9,9	49,7	99,8	200,0	297,0	398,5
				$\alpha \cdot 10^3$ , кг/м <sup>2</sup>	32,6	70,0	91,0	102,0	107,3	108
4.7	СО <sub>2</sub>	цеолите	298	$P \cdot 10^{-2}$ , Па	1,0	5,0	10,0	30,0	75	100
				$\alpha \cdot 10^3$ , кг/кг	35	86	112	152	174	178
4.8	метана	саже	150	$P \cdot 10^{-2}$ , Па	1,2	2,1	3,6	5,3	10,5	27,1
				$\alpha \cdot 10^3$ , моль/кг	7,5	15	30	50	80	100
4.9	азота	угле	220	$P \cdot 10^{-3}$ , Па	1,9	6,1	18,0	33,7	68,9	
				$\alpha \cdot 10^3$ , м <sup>3</sup> /кг	5,1	14,3	23,6	32,7	40,8	

Таблица 6

## Экспериментальные данные адсорбции

№	А	В	Т, К	Экспериментальные данные					
				$P \cdot 10^{-3}$ , Па					
5.1	CO <sub>2</sub>	угле	293	$P \cdot 10^{-3}$ , Па	1,0	4,5	10,0	25,0	45,2
				$\alpha \cdot 10^2$ , кг/кг	3,2	6,7	9,6	14,5	17,7
5.2	CO <sub>2</sub>	угле	544	$P \cdot 10^{-2}$ , Па	2,0	5,0	10	15	20
				$\alpha \cdot 10^3$ , кг/кг	20,3	31,6	44	53,5	61,5
5.3	паров воды	угле	293	$P \cdot 10^{-2}$ , Па	10,0	12,5	17,3	20,0	23,3
				$\alpha$ , моль/кг	4,0	6,8	14,8	20,2	28,5
5.4	этана	цеолите	298	$P \cdot 10^{-3}$ , Па	10,0	13,0	15,0	18,0	20,0
				$\alpha$ , моль/кг	2,37	2,45	2,53	2,57	2,63
5.5	этана	цеолите	298	$P \cdot 10^{-2}$ , Па	11,2	15,8	25,1	39,8	44,7
				$\alpha$ , моль/кг	1,70	1,79	1,91	2,04	2,09
5.6	метана	саже	120	P, Па	45,7	50,1	53,7	63,1	72,4
				$\alpha$ , ммоль/кг	7,9	9,1	10,0	12,6	15,8
5.7	метана	угле	120	P, Па	41,7	57,5	61,7	70,8	85,1
				$\alpha$ , ммоль/кг	7,1	11,2	12,3	15,1	20,0
5.8	азота	цеолите	471	$P \cdot 10^{-2}$ , Па	2,0	2,8	3,1	4,2	5,3
				$\alpha \cdot 10^2$ , кг/кг	2,78	3,20	3,34	3,79	4,18

Таблица 7

## Исходные данные

№	ПАВ	Т, К	$\sigma_0 \cdot 10^3,$ Дж/м <sup>2</sup>	$B \cdot 10^3,$ Дж/м <sup>2</sup>	К, м <sup>3</sup> /кмоль	с, кмоль/м <sup>3</sup>					
						0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06
6.1	Себаценовая кислота	293	72,75	10,13	24,0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06
6.2	Валериановая кислота	353	62,6	17,7	19,72	0,04	0,06	0,08	0,10	0,15	0,20
6.3	Масляная кислота	273	75,6	18,6	16,8	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,15
6.4	Валериановая кислота	273	75,62	14,72	10,4	0,02	0,04	0,06	0,10	0,15	0,25
6.5	Пропионовая кислота	293	72,75	12,8	7,16	0,06	0,10	0,24	0,55	0,95	1,60
6.6	Масляная кислота	293	72,75	16,7	21,5	0,01	0,02	0,04	0,05	0,08	0,10
6.7	Амиловый спирт	298	72,75	20,22	46,2	0,015	0,025	0,053	0,045	0,065	0,085
6.8	Масляная кислота	283	75,6	17,6	18,8	0,02	0,03	0,05	0,07	0,11	0,15

## Исходные данные

№	<b>A</b>	<b>B</b> избыток	<b>C</b>
7.1	$K_4[Fe(CN)_6]$	$FeCl_3$	$Fe_4[Fe(CN)_6]_3$
7.2	KOH	$FeCl_3$	$Fe(OH)_3$
7.3	$AgNO_3$	KBr	AgBr
7.4	KBr	$AgNO_3$	AgBr
7.5	$AgNO_3$	KCl	AgCl
7.6	KCl	$AgNO_3$	AgCl
7.7	$FeCl_3$	$K_4[Fe(CN)_6]$	$Fe_4[Fe(CN)_6]_3$
7.8	$K_2SO_4$	$Ba(NO_3)_2$	$BaSO_4$
7.9	$H_2O, (NH_4)_2CO_3$	$FeCl_3$	$Fe(OH)_3$
7.10	$H_2O, (NH_4)_2CO_3$	$AlCl_3$	$Al(OH)_3$
7.11	$K_4[Fe(CN)_6]$	$CuCl_2$	$Cu_2[Fe(CN)_6]$
7.12	$CuCl_2$	$K_4[Fe(CN)_6]$	$Cu_2[Fe(CN)_6]$
7.13	$Na_2HPO_4$	$FeCl_3$	$FePO_4$
7.14	$Na_2HPO_4$	$AlCl_3$	$AlPO_4$
7.15	$Na_2HPO_4$	$AgNO_3$	$Ag_3PO_4$
7.16	$H_2O, (NH_4)_2CO_3$	$CrCl_3$	$Cr(OH)_3$
7.17	$K_4[Fe(CN)_6]$	$Co(NO_3)_2$	$Co_2[Fe(CN)_6]$
7.18	$Co(NO_3)_2$	$K_4[Fe(CN)_6]$	$Co_2[Fe(CN)_6]$
7.19	$K_4[Fe(CN)_6]$	$Cd(NO_3)_2$	$Cd_2[Fe(CN)_6]$
7.20	$Cd(NO_3)_2$	$K_4[Fe(CN)_6]$	$Cd_2[Fe(CN)_6]$
7.21	$(NH_4)_2S$	$ZnSO_4$	ZnS
7.22	$ZnSO_4$	$(NH_4)_2S$	ZnS
7.23	$MnCl_2$	$K_2CO_3$	$MnCO_3$
7.24	$FeCl_3$	KOH	$Fe(OH)_3$
7.25	$CaCl_2$	$K_2CO_3$	$CaCO_3$

**Задача 8.** Порог коагуляции гидрозоля вещества **A** под действием электролита **B** равен  $c_K$  (см. таблицу 9). С помощью правила Шульце-Гарди для этого золя рассчитать пороги коагуляции электролитами **C**, **D**, **E**. Выберите из предложенных солей наиболее эффективный электролит-коагулянт.

**Задача 9.** Рассчитать мицеллярную молекулярную массу неионогенного ПАВ в водном растворе по результатам определения коэффициента диффузии макромолекул (таблица 10). Коэффициент диффузии мицелл ПАВ при температуре (Т) равен (D) м<sup>2</sup>/с, вязкость среды (η) Па·с, плотность ПАВ (ρ) г/м<sup>3</sup>. Вычислить среднее число агрегации мицелл.

Таблица 10

## Исходные данные

№	Относительная молекулярная масса ПАВ $M_r$	T, К	$D \cdot 10^{11}$ , м <sup>2</sup> /с	$\eta \cdot 10^3$ , Па·с	$\rho \cdot 10^{-6}$ , г/м <sup>3</sup>
9.1	748	293	5,83	1,00	0,95
9.2	751	313	6,25	0,98	0,96
9.3	660	293	6,25	1,00	1,05
9.4	660	333	4,98	0,95	0,98
9.5	660	313	5,41	0,99	0,99
9.6	485	333	2,75	1,00	0,95
9.7	750	333	6,58	0,97	0,96
9.8	726	313	5,29	0,96	0,97
9.9	810	298	4,06	0,99	1,10

**Задача 10.** Рассчитать молекулярную массу полимера по результатам определения коэффициента диффузии макромолекул (таблица 11). Коэффициент диффузии при температуре (Т) равен (D) м<sup>2</sup>/с, вязкость среды (η) Па·с, плотность полимера (ρ) г/см<sup>3</sup>. Форму макромолекул полимера считать сферической.

## Данные для расчета

№	A	Заряд кол. частицы	B	$C_K \cdot 10^2$ , моль/л	C	D	E
8.1	AgCl	–	KNO <sub>3</sub>	4,3	CaCl <sub>2</sub>	NaCl	Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>
8.2	AgJ	+	KCl	2,8	ZnSO <sub>4</sub>	K <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	AlCl <sub>3</sub>
8.3	Fe(OH) <sub>3</sub>	+	KCl	9,25	CuSO <sub>4</sub>	Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	NaNO <sub>3</sub>
8.4	AgJ	–	NaCl	14,2	CuSO <sub>4</sub>	Al(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	Th(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub>
8.5	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	+	NaCl	1,18	KNO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	K <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>
8.6	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	+	NaCl	5,2	K <sub>4</sub> Fe(CN) <sub>6</sub>	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	NaNO <sub>3</sub>
8.7	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	–	KCl	4,9	CuCl <sub>2</sub>	Al(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
8.8	Fe <sub>4</sub> [Fe(CN) <sub>6</sub> ] <sub>3</sub>	+	NaCl	15,1	KNO <sub>3</sub>	CuSO <sub>4</sub>	Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>
8.9	Fe <sub>4</sub> [Fe(CN) <sub>6</sub> ] <sub>3</sub>	–	KCl	11,1	KNO <sub>3</sub>	CaCl <sub>2</sub>	Al(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>
8.10	Ag	+	KCl	9,2	CuSO <sub>4</sub>	NaNO <sub>3</sub>	K <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>
8.11	MnO <sub>2</sub>	–	NaCl	10,3	NaBr	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	AlCl <sub>3</sub>
8.12	AgCl	+	NaCl	14,0	CuSO <sub>4</sub>	Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	NaNO <sub>3</sub>
8.13	Cu <sub>2</sub> [Fe(CN) <sub>6</sub> ]	+	NaCl	16,1	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	K <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	Cu(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
8.14	Cu <sub>2</sub> [Fe(CN) <sub>6</sub> ]	–	KCl	17,1	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	CaCl <sub>2</sub>	Al(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>
8.15	FePO <sub>4</sub>	+	NaCl	14,3	Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	CaCl <sub>2</sub>

8.16	FePO <sub>4</sub>	–	KCl	12,3	K <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	AlCl <sub>3</sub>
8.17	Co <sub>2</sub> [Fe(CN) <sub>6</sub> ]	+	NaCl	15,1	KBr	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>
8.18	Co <sub>2</sub> [Fe(CN) <sub>6</sub> ]	–	KCl	16,3	NaCl	CuSO <sub>4</sub>	Al(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>
8.19	AlPO <sub>4</sub>	–	KCl	12,4	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	AlCl <sub>3</sub>	Cu(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
8.20	AlPO <sub>4</sub>	+	NaCl	8,4	K <sub>4</sub> Fe(CN) <sub>6</sub>	CuSO <sub>4</sub>	NaNO <sub>3</sub>
8.21	BaSO <sub>4</sub>	+	NaCl	10,6	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Al(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>
8.22	BaSO <sub>4</sub>	–	KCl	12,5	NaCl	CuSO <sub>4</sub>	Al(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>
8.23	Au	–	NaCl	16,7	KCl	CuSO <sub>4</sub>	Al(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>
8.24	AgBr	+	KCl	15,6	Al(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	K <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>
8.25	AgBr	–	NaCl	12,8	Al(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	CuSO <sub>4</sub>	KCl

Таблица 11

## Исходные данные

№	Полимер (ВМС)	Растворитель	T, К	D · 10 <sup>10</sup> , м <sup>2</sup> /с	η · 10 <sup>4</sup> , Па·с	ρ · 10 <sup>-6</sup> , г/м <sup>3</sup>
10.1	Поливиниловый спирт	Вода	293	6,9	7,5	1,1
10.2	Полиметилметакрилат	Ацетон	293	3,95	1,5	1,6
10.3	Полиметилметакрилат	Ацетон	293	2,25	1,45	1,5
10.4	Ацетат амилозы	Метилацетат	298	4,35	1,22	1,4
10.5	Поливиниловый спирт	Вода	298	7,5	6,9	1,05
10.6	Ацетат амилозы	Метилацетат	293	3,25	1,5	1,5

**Задача 11.** По данным вискозиметрических определений характеристической вязкости  $[\eta]$  растворов ВМС и значениям констант  $K$  и  $\alpha$  уравнения Марка-Хаувинка рассчитать молекулярную массу полимера (см. таблицу 12).

Таблица 12

Данные для расчета

№	Полимер (ВМС)	Растворитель	$[\eta]$	$K \cdot 10^4$	$\alpha$
11.1	Полибутадиен	Бензол	1,41	1,00	0,77
11.2	Полистирол	Циклогексан	0,27	8,20	0,50
11.3	Поливиниловый спирт	Вода	1,33	5,95	0,67
11.4	Полиакриламид	Вода	1,12	0,63	0,80
11.5	Поливинилацетат	Ацетон	1,44	2,80	0,67
11.6	Натуральный каучук	Толуол	0,28	2,80	0,67
11.7	Ацетилцеллюлоза	Ацетон	2,16	1,59	0,82
11.8	Метилцеллюлоза	Вода	2,02	2,80	0,62
11.9	Оксиэтилцеллюлоза	Вода	1,82	3,70	0,80
11.10	Натуральный каучук	Бензол	0,126	5,00	0,67

**СОДЕРЖАНИЕ**

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
1. ПРОГРАММА КУРСА КОЛЛОИДНОЙ ХИМИИ.....	6
Литература.....	12
2. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ КОЛЛОИДНОЙ ХИМИИ.....	15
2.1. Коллоидное состояние.....	15
2.2. Поверхностные явления и адсорбция.....	21
2.3. Двойной электрический слой и электрокинетические явления.....	34
2.4. Получение дисперсных систем и их очистка.....	43
2.5. Молекулярно-кинетические и оптические свойства.....	43
2.6. Стабилизация и коагуляция дисперсных систем.....	45
2.7. Структурообразование в дисперсных системах.....	48
2.8. Микрогетерогенные системы с жидкой дисперсионной средой.....	49
2.9. Системы с газообразной дисперсионной средой.....	50
2.10. Коллоидные поверхностно-активные веществ.....	51
2.11. Физико-химические свойства полимеров и их растворов.....	54
3. ВЫПОЛНЕНИЕ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ.....	58

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

**КОЛЛОИДНАЯ ХИМИЯ**

Методические указания  
для выполнения контрольных работ бакалавров  
Заочная форма обучения

*Составители:*

**О.В. Салищева**, доцент, канд. хим. наук;  
**Н.Е. Молдагулова**, доцент, канд. хим. наук;  
**Ю.В. Тарасова**, ст. преподаватель, канд. техн. наук;  
**Н.В. Розаленок**, ст. преподаватель

Оригинал-макет изготовлен в редакционно-издательском отделе  
Кемеровского технологического института пищевой  
промышленности  
650056, г. Кемерово, б-р Строителей, 47

ПЛД № 44-09 от 10.10.99  
Отпечатано в лаборатории множительной техники  
Кемеровского технологического института пищевой  
промышленности  
650010, г. Кемерово, ул. Красноармейская, 52