

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

**Кафедра физической и коллоидной химии**

# **ФИЗИЧЕСКАЯ И КОЛЛОИДНАЯ ХИМИЯ**

**Контрольные вопросы и задания  
к лабораторному практикуму  
для самостоятельной работы  
по разделу «Коллоидная химия»  
для студентов специальности 1-48 01 05  
«Химическая технология переработки древесины»**

Минск 2012

УДК 544.77(076.5)(0.034.4)  
ББК 24.6я73  
Ф50

Рассмотрены и рекомендованы к изданию редакционно-издательским советом университета

Составитель  
*Т. А. Шичкова*

Рецензент  
кандидат химических наук, доцент кафедры физической химии  
химического факультета Белорусского государственного университета  
*Т. А. Савицкая*

По тематическому плану изданий учебно-методической литературы университета на 2012 год. Поз. 97.

Для студентов специальности 1-48 01 05 «Химическая технология переработки древесины».

© УО «Белорусский государственный  
технологический университет», 2012

---

---

# ПРЕДИСЛОВИЕ

---

---

Физическая и коллоидная химия является одной из фундаментальных химических дисциплин, знание которой определяет уровень квалификации любого специалиста, имеющего отношение к химической науке и технологии. Важнейший раздел этого курса – «Коллоидная химия» – наука о поверхностных явлениях и дисперсных системах, которая является теоретической основой описания гетерогенных процессов любой химической технологии и многих природных явлений.

Важное место в процессе обучения занимает лабораторный практикум, при выполнении которого студенты осваивают методы изучения различных поверхностных явлений, получения дисперсных систем и исследования их свойств. При этом большая роль отводится самостоятельной работе, которая активизирует познавательную деятельность студентов, повышает интерес к изучаемой дисциплине, развивает творческие способности и аналитическое мышление.

Для проведения лабораторных занятий по разделу «Коллоидная химия» студенты и преподаватели кафедры руководствуются существующими методическими изданиями и материалом лабораторного практикума «Поверхностные явления и дисперсные системы», изданного ранее коллективом кафедры. Практикум включает в себя некоторый теоретический материал по изучаемым разделам и описание экспериментального выполнения лабораторных работ. Однако он не содержит перечня вопросов, ответы на которые студент должен знать при допуске к выполнению той или иной работы, а также контрольных вопросов для подготовки к ее теоретической защите, в нем не указаны требования к оформлению письменного отчета и графическому отображению полученных результатов.

Структура данной работы отражает последовательность и логику изложения лекционного материала по разделу «Коллоидная химия» курса «Физическая и коллоидная химия» и в то же время позволяет студентам выполнять лабораторные работы в любом удоб-

ном для преподавателя порядке. Пособие включает два раздела и девять подразделов, каждый из них содержит перечень основных теоретических вопросов по теме выполняемых работ. Далее следует название лабораторной работы и вопросы, которые необходимо знать для ее экспериментального выполнения и теоретической защиты. Стоит обратить внимание, что вопросы к допуску или защите лабораторных работ по разным темам могут повторяться – это обусловлено общностью коллоидно-химических закономерностей изучаемых явлений и систем.

Все материалы сопровождаются списком основной и дополнительной литературы, необходимой для подготовки. В приложениях 1 и 2 также перечислены требования, которые предъявляются к оформлению письменного отчета по выполненной работе и графическому отображению полученных результатов.

Данное пособие написано в соответствии с требованиями и содержанием типовой учебной программы для высших учебных заведений по специальности 1-48 01 05 «Химическая технология переработки древесины» (регистрационный № ТД-1.107/тип.) и призвано помочь студентам всех специальностей (1-47 02 01, 1-48 01 01, 1-48 01 02, 1-48 01 04, 1-48 01 05, 1-48 02 01, 1-57 01 03, 1-54 01 03), изучающим на кафедре физической и коллоидной химии дисциплины «Физическая и коллоидная химия» и «Поверхностные явления и дисперсные системы» в их самостоятельной работе по подготовке к лабораторным занятиям и закреплению теоретического материала.

При изучении теоретического материала в процессе самостоятельной работы студенты могут использовать самый широкий спектр научной и научно-методической литературы. При этом обязательным к изучению является лекционный материал, а также основные рекомендуемые учебники и пособия.

## Принятые сокращения

**ДС** – дисперсная система.

**ПАВ** – поверхностно-активное вещество.

**ПНВ** – поверхностно-неактивное вещество.

**ПИВ** – поверхностно-инактивное вещество.

**ДЭС** – двойной электрический слой.

**СЕГ** – структурная единица частицы дисперсной фазы гидрозоля.

**ККМ** – критическая концентрация мицеллообразования.

---

---

# ВВЕДЕНИЕ

---

---

Коллоидная химия изучает дисперсные системы и поверхностные явления, протекающие на границе раздела фаз. *Дисперсная система* – это гетерогенная система, в которой одна из фаз (дисперсная) раздроблена и распределена в другой сплошной фазе (дисперсионной среде). Поэтому отличительными признаками всех ДС (по Пескову Н. П.) являются гетерогенность (многофазность – обязательный качественный признак) и дисперсность (раздробленность, т. е. количественный признак). *Гетерогенность* обуславливает наличие межфазной поверхности (поверхности раздела между фазами), а *дисперсность* определяет величину этой поверхности, т. е. площадь.

К дисперсным можно отнести любые гетерогенные системы с размером частиц от  $10^{-9}$  м и более (обычно эти пределы ограничиваются величиной  $\sim 10^{-4}$  м). Количественно дисперсность системы оценивается величиной  $D$ , обратной линейному размеру  $a$  вдоль оси измерения:

$$D = 1 / a, \text{ м}^{-1}.$$

В соответствии с этим к ДС могут относиться: пленки (в изучаемый диапазон входит один из трех линейных размеров – толщина), нити (два из трех ее размеров) или частицы (все три размера входят в изучаемый диапазон). Для последних, если они имеют шарообразную или близкую к ней форму, вместо  $a$  используют величину усредненного диаметра  $d$ .

Многообразие ДС обусловлено не только их разной дисперсностью, но и, например, различием в агрегатном состоянии фаз, интенсивности межчастичного взаимодействия или взаимодействия частиц фазы и среды, различиями в термодинамической устойчивости и др. На этих главных признаках основаны различные типы классификации ДС.

Особенностью всех ДС является то, что они обладают большой площадью поверхности раздела фаз, для количественной оценки которой используют понятие удельная поверхность  $S_{\text{уд}}$ . Она показывает величину площади, которую имеет единица массы дисперсной фазы:

$$S_{уд} = S_{общ} / m, \text{ м}^2/\text{кг} (\text{м}^2/\text{г}),$$

или единица ее объема:

$$S_{уд} = S_{общ} / V, \text{ м}^2/\text{м}^3.$$

Очевидно, что чем больше раздробленность (выше дисперсность), тем больше величина удельной поверхности для данной ДС.

Раздробленность приводит к тому, что значительная доля вещества дисперсной фазы находится не в глубине фазы, а в межфазном поверхностном слое. За его толщину принимают расстояние по обе стороны от межфазной границы, за пределами которого свойства перестают отличаться от свойств данной фазы. Считается, что его толщина составляет несколько молекул. Именно в нем происходит плавное изменение свойств при переходе из одной фазы в другую.

Состояние молекул в поверхностном слое отличается нескомпенсированностью межмолекулярного взаимодействия: возникает равнодействующая сила, направленная в сторону той фазы, взаимодействие с молекулами которой сильнее. Эта сила стремится «втянуть» молекулы поверхностного слоя вглубь фазы, т. е. сократить поверхность, и потому приводит к появлению поверхностного натяжения. Нескомпенсированность молекулярных связей на поверхности раздела фаз является причиной избыточной энергии у молекул поверхностного слоя, т. е. приводит к появлению избыточной поверхностной энергии Гиббса  $G$ .

Количественной характеристикой этой избыточной энергии является **величина поверхностного натяжения  $\sigma$** , физический смысл которой состоит в том, что она является удельной поверхностной энергией, т. е. равна величине поверхностной энергии, приходящейся на единицу площади поверхности раздела фаз (энергетическое определение):

$$\sigma = G / S_{общ}, \text{ Дж}/\text{м}^2.$$

Наличие избыточной поверхностной энергии – одна из отличительных особенностей всех ДС. Стремление любой дисперсной системы к ее уменьшению является причиной протекания всех поверхностных явлений. **Поверхностными явлениями** называют явления, протекающие на границе раздела фаз (межфазной поверхности) в дисперсных системах. К ним относятся, например, адсорбция, адгезия, смачивание или растекание, капиллярные явления и др.

Этот же избыток поверхностной энергии обуславливает термодинамическую (агрегативную) неустойчивость большинства **лиофобных ДС**. В отсутствие стабилизаторов в лиофобных системах происходит самопроизвольное слипание (коагуляция) и слияние (коалесценция)

частиц или капель фазы. Эти процессы, как и большие размеры частиц в некоторых микро- и грубодисперсных системах, являются причиной оседания (седиментации) частиц или образования пространственных структур. Все описанные явления приводят к разрушению ДС.

Под **разрушением ДС** понимают нарушение ее **агрегативной и седиментационной устойчивости**. (Таким образом, любая ДС только тогда остается таковой, когда сохраняет во времени постоянные размеры частиц, их равномерное распределение и интенсивность межчастичного взаимодействия.) В связи с этим очень важной в коллоидной химии является проблема **стабилизации** лиофобных ДС. Как нетрудно заметить, даже в пищевых продуктах, не говоря уже о продукции технического профиля, повсюду встречаются различного рода стабилизирующие добавки (стабилизаторы, эмульгаторы и прочее).

Однако, наряду с лиофобными, существуют и **лиофильные ДС**, которые являются термодинамически устойчивыми и, в отличие от лиофобных, не требуют присутствия стабилизаторов. К этому типу ДС относятся мицеллярные растворы коллоидных ПАВ; некоторые эмульсии (горюче-смазочные материалы); растворы ВМС, обладающие рядом свойств типично коллоидных систем.

Особый интерес представляют методы получения ДС, основными из которых являются **диспергирование** (измельчение, истирание, распыление, барботаж и т. п.) и **конденсация**. Если первые подразумевают увеличение дисперсности уже гетерогенных систем, то конденсация означает образование частиц новой фазы в гомогенной среде в условиях пересыщения (последние обуславливают термодинамическую возможность агрегации молекул в частицы, капли, пузырьки).

Несмотря на многообразие систем, изучаемых коллоидной химией, можно выделить целый ряд характерных для них свойств, к которым, например, относятся молекулярно-кинетические, оптические, электрические, структурно-механические и др. Изучение некоторых из этих свойств позволяет по-новому взглянуть на происходящие в окружающем нас мире явления и процессы, объяснить многие наблюдаемые закономерности.

Все перечисленное выше лишь очень кратко характеризует особенности систем, называемых дисперсными.

Данная работа призвана помочь студентам-технологам не только разобраться в тонкостях выполнения лабораторных работ, но и усвоить закономерности поведения ДС, понять способы их получения и характер проявляемых поверхностных явлений, увидеть многообразие их свойств.

---

---

# Раздел 1. ПОВЕРХНОСТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

---

---

Прежде чем приступить к изучению различных поверхностных явлений, протекающих на границе раздела фаз в гетерогенных системах, следует уяснить смысл основных понятий коллоидной химии и обратить особое внимание на причины протекания всех поверхностных явлений. Поэтому обязательными для рассмотрения являются нижеперечисленные вопросы.

Определение понятий: дисперсная система, дисперсная фаза, дисперсионная среда. Два отличительных признака всех ДС. Основные количественные характеристики ДС. Различие понятий «общая поверхность» и «удельная поверхность». Способы вычисления удельной поверхности в ДС с различной формой частиц дисперсной фазы.

Поверхностная энергия дисперсных систем, ее зависимость от величины межфазной поверхности. Удельная поверхностная энергия, или поверхностное натяжение. Вклад поверхностной энергии в общую энергетику процессов, протекающих в ДС. Поверхностная энергия и устойчивость ДС.

## 1.1. Поверхностная энергия и поверхностное натяжение

Отличительной особенностью всех дисперсных систем, как уже отмечалось, является большая величина площади поверхности раздела фаз и наличие избыточной поверхностной энергии. Это определяет энергетику всех процессов, протекающих в дисперсной системе, и, конечно, играет решающую роль в характере поверхностных явлений и проявляемых свойствах. При изучении данного раздела необходимо обратить внимание на следующие вопросы:

- понятие и свойства поверхностного слоя (межфазной поверхности). Энергетическое состояние молекул индивидуального ве-



щества (например, жидкости) в поверхностном слое и внутри фазы. Причины появления избыточной поверхностной энергии;

- поверхностное натяжение как мера избыточной поверхностной энергии. Его силовая и энергетическая трактовки. Поверхностное натяжение и работа по образованию новой поверхности. Поверхностная энергия в объединенном уравнении первого и второго начал термодинамики;

- поверхностное натяжение индивидуальных жидкостей: влияние на него природы самой жидкости, природы граничащей фазы, температуры, присутствия растворенного вещества;

- поверхностное натяжение водных растворов и виды изотерм поверхностного натяжения для разных типов веществ. Характеристика, свойства и примеры поверхностно-активных, поверхностно-неактивных и поверхностно-инактивных веществ;

- общая характеристика ПАВ. Особенности строения молекул. Классификация ПАВ по их способности образовывать коллоидные растворы и по способности к диссоциации (и ее характеру);

- характер зависимости поверхностного натяжения водного раствора ПАВ от области рассматриваемых концентраций. Уравнение Шишковского;

- понятие «поверхностная активность», способ ее вычисления и размерность. Правило Дюкло – Траубе. Условия его применимости;

- определение поверхностных явлений. Термодинамическое обоснование (причина) их самопроизвольного протекания. Два основных способа снижения поверхностной энергии чистой конденсированной фазы. Примеры.

**Литература:** [1, с. 4–11; 2, с. 12–14, 19, 23–32, 89–90; 3, с. 21–22, 25–28, 50–52, 333–336; 4, с. 114–120, 126–127; 5, с. 44–52, 75, 78–80, 85–87; 6, с. 30–41, 75–79].

**ВОПРОСЫ ДЛЯ ДОПУСКА К ВЫПОЛНЕНИЮ  
лабораторной работы № 1  
«Определение поверхностной активности ПАВ»**

1. Какие вещества называют *поверхностно-активными* веществами, или ПАВ?

- ♦ Какова особенность строения молекулы ПАВ?

- ♦ Объясните, почему их молекулы выталкиваются из полярных растворителей на поверхность.
  - ♦ Нарисуйте, как молекулы ПАВ ориентируются на границе «водный раствор – воздух». Почему?
2. Что характеризует величина *поверхностной активности*  $g$  ПАВ?
- ♦ Какой график необходимо построить для ее вычисления? Дайте название графику и покажите, как графически рассчитать величину  $g$ .
  - ♦ Для чего при вычислении  $g$  необходимо учитывать условие  $C \rightarrow 0$ ?
  - ♦ Какую размерность имеет величина поверхностной активности  $g$ ?
3. Назовите метод, который используется в работе для определения поверхностного натяжения  $\sigma$ .
- ♦ Нарисуйте схему установки Ребиндера и опишите принцип ее работы.
  - ♦ Напишите формулу для вычисления поверхностного натяжения  $\sigma$  исследуемого раствора по данному методу. Назовите все величины и поясните способ их определения или вычисления.
  - ♦ Что такое константа сосуда  $K$ ? Какую жидкость выбирают в качестве стандартной?
4. Поясните и приведите расчеты, необходимые для приготовления водных растворов ПАВ (можно с использованием заданных в указанном варианте концентраций). Укажите очередность заполнения (измерения  $\sigma$ ) этими растворами сосуда, в который опускается капилляр.

**Литература:** [1, с. 7–11, 20–27; 2, с. 31–32].

**ВОПРОСЫ ДЛЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ  
лабораторной работы № 1  
«Определение поверхностной активности ПАВ»**

1. Что называется межфазной поверхностью, или *поверхностным слоем*? Какова его примерная толщина, и какими свойствами он обладает?
2. Назовите причину появления *избыточной поверхностной энергии*. Куда в общем случае направлена равнодействующая всех сил, действующих на молекулу в поверхностном слое фазы?

3. Дайте известные вам определения понятия «поверхностное натяжение».

- ♦ Укажите размерность этой величины исходя из ее энергетической и силовой трактовки.
- ♦ В каком случае, с точки зрения термодинамики, поверхностное натяжение можно рассматривать как работу, затраченную на образование единицы площади новой поверхности?
- ♦ Поясните, почему поверхностное натяжение, например, полярной жидкости больше, чем неполярной.

4. Перечислите факторы, от которых зависит величина поверхностного натяжения чистой жидкости. Поясните их влияние на величину  $\sigma$ .

5. Что называют *изотермой поверхностного натяжения*? Как растворенное вещество может влиять на поверхностное натяжение растворителя  $\sigma_0$ ?

- ♦ Охарактеризуйте свойства соответствующих классов веществ, поясните их названия и приведите примеры.
- ♦ Дайте графическую иллюстрацию основных типов изотерм поверхностного натяжения, соответствующих этим веществам.

6. Опишите подробно характер зависимости поверхностного натяжения от концентрации раствора ПАВ (три области).

- ♦ Приведите *уравнение Шишковского* и поясните, в каких случаях величины  $A$  и  $B$  в уравнении являются константами.
- ♦ Как объяснить постоянство величины  $\sigma$  при более высоких концентрациях ПАВ?
- ♦ Продемонстрируйте с помощью рисунка распределение молекул ПАВ в водном растворе при различных его концентрациях. Нарисуйте «частокол» Лэнгмюра. Объясните ориентацию молекул ПАВ в нем.

7. Сформулируйте *правило Дюкло – Траубе* в двух вариантах. Приведите примеры. Укажите условия его выполнения.

- ♦ Проиллюстрируйте графически вид изотерм поверхностного натяжения для растворов ПАВ любого гомологического ряда.
- ♦ Объясните относительное расположение изотерм в этом ряду.
- ♦ Покажите на рисунке концентрации растворов любых членов гомологического ряда с близкими значениями величины  $\sigma_i$ . Каким должно быть их соотношение?

8. Назовите основные *методы определения поверхностного натяжения* на границе раздела «жидкость – газ». Дайте их краткую характеристику.

9. Поясните ход рассуждений в *методе Ребиндера* (метод наибольшего давления в пузырьке воздуха).

- ♦ Какое условие должно выполняться, чтобы пузырек удерживался на кончике капилляра?
- ♦ Какая связь существует между поверхностным натяжением жидкости  $\sigma$ , радиусом капилляра  $r$  и внешним давлением  $P_{\text{внешн}}$ ?
- ♦ Какими способами можно создать внешнее давление?
- ♦ При каком условии происходит проскок пузырька воздуха в капилляре?
- ♦ Для чего вводят константу сосуда  $K$ , чему равна ее величина, и как проводится опыт по ее вычислению?
- ♦ Запишите формулу для вычисления поверхностного натяжения любого раствора методом Ребиндера.

**Литература:** [1, с. 4–11, 20–25; 2, с. 23–32; 3, с. 25–28, 50–52; 6, с. 75–79, 86–87].

## 1.2. Адсорбция

Адсорбционные явления играют огромную роль в окружающем мире: это относится как к промышленным технологическим процессам, так и к процессам, протекающим в животном и растительном мире. Концентрирование вещества является процессом самопроизвольным и может происходить на различных границах раздела фаз. Кроме этого признака адсорбцию классифицируют также по виду адсорбата (молекулярная или ионная), по характеру взаимодействия адсорбата и адсорбента (физическая или хемосорбция), по числу адсорбционных слоев (моно- или полимолекулярная). В данном разделе будет рассматриваться мономолекулярная адсорбция неэлектролитов на жидкой и твердой поверхности. Но прежде необходимо усвоить основные понятия и определения.

- ♦ Явления абсорбции и адсорбции, их отличие. Понятия адсорбат, адсорбент. Причины самопроизвольного протекания адсорбции.

**1.2.1. Адсорбция на границе «жидкость – газ».** При изучении процесса адсорбции на жидкой поверхности стоит уделить особое внимание изучению следующих вопросов:

- количественное описание адсорбции по Гиббсу  $\Gamma$  и по Лэнгмюру  $a$  на границе «жидкость – газ». Физический смысл этих величин, размерность;
- адсорбционное уравнение Гиббса. Способы вычисления адсорбции по Гиббсу на границе «жидкость – газ» для ПАВ и ПИВ с использованием изотерм поверхностного натяжения. Понятия «положительная» и «отрицательная» адсорбция;
- изотерма адсорбции. Вид изотерм адсорбции по Гиббсу для ПАВ, ПНВ и ПИВ. Изотермы адсорбции для представителей одного гомологического ряда ПАВ;
- уравнение адсорбционной теории Лэнгмюра. Физический смысл входящих в него величин. Изотермы адсорбции в координатах  $a = a(C)$  и  $1/a = 1/a(1/C)$ . Графическое определение констант  $a_\infty$  и  $K$  в уравнении Лэнгмюра;
- характер ориентации молекул ПАВ в поверхностном слое жидкости при адсорбции на границе «жидкость – газ». Вычисление площади, занимаемой одной молекулой ПАВ в поверхностном слое;
- методы определения поверхностного натяжения на границе раздела «жидкость – газ». Метод Ребиндера.

**Литература:** [1, с. 9, 11–16; 2, с. 82–89; 3, с. 39–42, 45–52; 4, с. 120–130; 5, с. 72–82; 6, с. 60–65, 75–83, 86–87].

**ВОПРОСЫ ДЛЯ ДОПУСКА К ВЫПОЛНЕНИЮ  
лабораторной работы № 2  
«Определение площади, занимаемой молекулой ПАВ  
в поверхностном слое»**

1. Какие вещества называют *поверхностно-активными*, или ПАВ? Каковы особенности строения молекулы ПАВ?

2. Нарисуйте, как располагаются молекулы ПАВ на поверхности водного раствора. Напишите формулу для вычисления *площади, занимаемой одной молекулой ПАВ в поверхностном слое*  $S_0$ . Поясните смысл входящих в формулу величин.

3. Расскажите, с помощью какого графика можно рассчитать величину предельной адсорбции по Лэнгмюру  $a_\infty$ , входящую в уравнение для вычисления  $S_0$ . Что нужно знать, чтобы построить данный график?

- ♦ Поясните, при каких условиях можно принять, что величины *адсорбции по Гиббсу*  $\Gamma$  и *по Лэнгмюру*  $a$  совпадают.

- ♦ Расскажите, как рассчитать величину адсорбции по Гиббсу при любой концентрации исследуемого ПАВ, используя полученную для него изотерму поверхностного натяжения (зависимость  $\sigma = f(C)$ ).
4. Назовите метод, которым пользуются в данной работе для определения поверхностного натяжения.
- ♦ Какое положение лежит в основе метода?
  - ♦ Нарисуйте и назовите установку, которую используют в данном методе.
  - ♦ Запишите формулу для вычисления поверхностного натяжения исследуемой жидкости, используя соответствующие характеристики для стандартной жидкости.
5. Поясните, какие растворы необходимо приготовить для выполнения данной работы и приведите примеры вычислений в соответствии с указанным вариантом.
6. Укажите очередность заполнения (измерений) этими растворами соответствующей установки. Нарисуйте вид таблицы для представления экспериментальных данных в используемом методе.

**Литература:** [1, с. 7–9, 11–16, 20–22, 27–29; 2, с. 84–86, 89–90].

**ВОПРОСЫ ДЛЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ  
лабораторной работы № 2  
«Определение площади, занимаемой молекулой ПАВ  
в поверхностном слое»**

1. Что называют *поверхностными явлениями*? Как с точки зрения термодинамики объяснить самопроизвольность их протекания? Дайте определение явления «адсорбция».
2. На какой границе раздела фаз происходит адсорбция в данной работе, и что является *адсорбатом* и *адсорбентом*?
  - ♦ Нарисуйте расположение дифильных молекул адсорбата на поверхности полярной и неполярной жидкости.
  - ♦ В каком случае при одинаковой концентрации адсорбата в растворе их количество на поверхности будет больше и почему?
3. Какие вам известны варианты количественного описания адсорбции? Дайте определение величине *адсорбции по Гиббсу* и приведите уравнения для ее вычисления.

- ♦ Укажите размерность величины адсорбции.
  - ♦ Расскажите, как рассчитать адсорбцию по Гиббсу, используя экспериментальные данные зависимости поверхностного натяжения раствора адсорбата от его концентрации.
  - ♦ Поясните, что такое «положительная» и «отрицательная» адсорбция по Гиббсу. Приведите примеры.
4. Нарисуйте возможные виды *изотерм адсорбции по Гиббсу* для различных классов веществ. Объясните наблюдаемые зависимости.
5. Дайте определение величине *адсорбции по Лэнгмюру*.
- ♦ Запишите уравнение, раскрывающее ее физический смысл, и укажите размерность этой величины.
  - ♦ Приведите математическую запись адсорбционного уравнения из теории Лэнгмюра (назовите все входящие в него величины).
  - ♦ Получите *адсорбционное уравнение Лэнгмюра* в линейных координатах.
6. Нарисуйте вид изотерм адсорбции по Лэнгмюру в координатах  $a = f(C)$  и  $1/a = f(1/C)$ . Укажите физический смысл величины предельной адсорбции  $a_\infty$ .
7. Как связана величина  $a_\infty$  с площадью, занимаемой одной молекулой ПАВ в поверхностном слое  $S_0$  (выведите данное уравнение)? От чего зависит величина  $S_0$ , и для каких веществ она будет одинаковой?
8. Каково соотношение между величинами адсорбции по Гиббсу и по Лэнгмюру? Проиллюстрируйте ответ с помощью формул и графиков.
9. Назовите основные методы определения поверхностного натяжения на границе раздела «жидкость – газ».
- ♦ Дайте их краткую характеристику.
  - ♦ Опишите *принцип сталагмометрического метода* и получите уравнение для вычисления этим методом поверхностного натяжения исследуемого раствора.
  - ♦ Какие из величин поверхностных натяжений  $\sigma_{ж-г}$ ,  $\sigma_{ж-ж}$ ,  $\sigma_{т-ж}$  или  $\sigma_{т-т}$  нельзя определить данным методом и почему?

**Литература:** [1, с. 7, 11–16; 2, с. 13–14, 82–89; 6, с. 37–42, 86–87].

**1.2.2. Адсорбция на границе «твердое тело – жидкость».** Адсорбция из раствора на твердой поверхности имеет огромное практическое значение. Например, она широко используется при очистке различных жидкостей, для извлечения из растворов ценных компонентов, в процессах получения (стабилизации) и разрушения лиозолей с твер-

дыми частицами фазы и др. Адсорбция на границе «твердое тело – жидкость», в отличие от адсорбции на границе «твердое тело – газ», осложнена наличием третьего (как минимум) компонента – растворителя, который является конкурентом при адсорбции молекул адсорбата.

Рассмотрение явления адсорбции на твердых адсорбентах требует проработки следующих теоретических вопросов:

- основные характеристики твердых адсорбентов: удельная поверхность  $S_{уд}$  и пористость  $\Pi$ . Удельная поверхность твердого адсорбента: физический смысл, способы вычисления, размерность;
- разновидности адсорбции на твердом адсорбенте. Молекулярная адсорбция. Количественное описание молекулярной адсорбции по Лэнгмюру на твердых адсорбентах, ее размерность;
- основные положения теории мономолекулярной адсорбции Лэнгмюра. Вывод адсорбционного уравнения и его универсальность;
- вид изотерм адсорбции в координатах  $a = a(C)$  и  $1/a = 1/a(1/C)$ . Графическое определение констант в уравнении Лэнгмюра;
- природа твердых адсорбентов, ее влияние на процесс молекулярной адсорбции из жидкой фазы;
- влияние природы растворителя (среды) и адсорбента на процесс молекулярной адсорбции из жидкой фазы. Правило Ребиндера. Примеры использования правила в практических целях для оптимального выбора адсорбента;
- влияние температуры на процесс адсорбции. Использование уравнения изобары Вант-Гоффа для оценки влияния температуры на величину константы адсорбционного равновесия;
- принцип колориметрии и ее применение в экспериментальных методах вычисления равновесной концентрации адсорбата в растворе.

**Литература:** [1, с. 13–15, 31–37; 2, с. 55–67, 91–92; 3, с. 12, 21–25, 136–141, 148–149, 157–160, 171–174, 183; 4, с. 15–18, 81–85, 99, 137–145; 5, с. 109–110, 136–140, 157–166; 6, с. 60–62, 89–98].

**ВОПРОСЫ ДЛЯ ДОПУСКА К ВЫПОЛНЕНИЮ  
лабораторной работы № 4  
«Определение удельной поверхности твердого адсорбента»**

1. Дайте определение поверхностного явления «адсорбция». Что называется *адсорбатом* и *адсорбентом*? Какие вещества в данной работе являются адсорбатом и адсорбентом?



2. На какой границе раздела фаз происходит адсорбция в данной работе? Запишите формулу для вычисления *удельной поверхности твердого адсорбента*  $S_{уд}$ .

- ♦ Поясните смысл величин, входящих в уравнение, и назовите все размерности.
- ♦ Какую величину необходимо рассчитать в данной работе, чтобы вычислить удельную поверхность?
- ♦ Нарисуйте вид графика с указанием осей, из которого можно вычислить данную величину.

3. Расскажите ход выполнения работы.

- ♦ Сколько и каких растворов необходимо приготовить в данной работе? Приведите примеры вычислений, необходимых для приготовления растворов.
- ♦ Поясните, для чего нужно готовить две порции растворов красителя.
- ♦ Расскажите очередность измерения оптической плотности  $D$  растворов красителя разной концентрации.
- ♦ Объясните, с какой целью строится график зависимости  $D = D(C)$  и какой вид он должен иметь. Почему?

4. Как рассчитать величину молекулярной адсорбции красителя на твердом адсорбенте в каждом из растворов? Для построения какого графика нужны рассчитанные значения молекулярной адсорбции?

5. Дайте название физико-химического метода анализа, с помощью которого в данной работе определялись равновесные концентрации раствора адсорбата.

**Литература:** [1, с. 31–34, 36–37, 45–47; 2, с. 91–92].

### ВОПРОСЫ ДЛЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ лабораторной работы № 4

#### «Определение удельной поверхности твердого адсорбента»

1. Объясните, почему явление адсорбции протекает самопроизвольно. Как меняется при этом величина поверхностной энергии адсорбента?

2. Назовите известные вам виды адсорбции на твердых адсорбентах. Объясните их принципиальное отличие. Дайте подробную характеристику физической и химической адсорбции.

3. Дайте определение понятия «удельная поверхность». Напишите известные вам формулы для вычисления ее величины. Зависит ли величина  $S_{уд}$  от размеров и формы частиц адсорбента? Поясните ответ с помощью формул.

4. Что называют молекулярной адсорбцией?

- ♦ Сформулируйте определение адсорбции по Лэнгмюру.
- ♦ Приведите основные положения его теории молекулярной адсорбции.
- ♦ Выведите адсорбционное уравнение. Поясните смысл всех величин, стоящих в уравнениях.
- ♦ Постройте изотерму адсорбции в координатах  $a = a(C)$ , проанализировав уравнение Лэнгмюра для различных областей концентраций.

5. Приведите уравнение к линейному виду и нарисуйте изотерму адсорбции Лэнгмюра в координатах  $1/a = 1/a(1/C)$ . Покажите, как графически определить константы  $a_{\infty}$  и  $K$ . Укажите размерность  $K$ .

6. Расскажите о факторах, влияющих на молекулярную адсорбцию (природа адсорбента, адсорбата и растворителя, влияние температуры). Сформулируйте правило Ребиндера.

7. Опишите принцип метода колориметрии и условия его применения.

- ♦ Что такое оптическая плотность?
- ♦ Запишите закон Бугера – Ламберта – Бера и поясните смысл входящих в него величин.
- ♦ Выведите формулу, связывающую оптическую плотность раствора  $D$  с его концентрацией  $C$ . Поясните физический смысл  $\epsilon$ .

**Литература:** [1, с. 11, 13–15, 31–37; 2, с. 55–67, 91–92; 3, с. 21–25, 129–130, 148–149; 4, с. 15–18, 81–82; 5, с. 164–166; 6, с. 95–97].

### 1.3. Адгезионные явления

*Адгезия, смачивание и растекание* – это процессы межфазного взаимодействия между приведенными в контакт поверхностями разных конденсированных фаз. Склеивание материалов, нанесение лакокрасочных и других функциональных покрытий, сварка и пайка металлов, печатание и крашение, синтез материалов с использованием связующих и наполнителей (резина, бетон и т. п.) – эти и мно-

гие другие процессы связаны с адгезией и смачиванием. Последнее явление подразумевает участие в процессе хотя бы одной жидкой фазы, что обеспечивает равновесные обратимые условия и позволяет использовать для его описания известные термодинамические соотношения.

Прежде чем перейти к рассмотрению отдельных разновидностей адгезионного взаимодействия, необходимо знать:

- общее определение адгезионных явлений. Отличие сил адгезионного и когезионного взаимодействий.

**1.3.1. Адгезия (смачивание и растекание), происходящая при контакте двух жидкостей.** При изучении данной темы следует обратить внимание на нижеприведенные вопросы:

- количественная характеристика сил адгезии (когезии) в применении к жидким фазам;
- уравнение Дюпре и его использование для вычисления работы адгезии двух жидкостей;
- смачивание. Количественная характеристика смачивания. Виды смачивания;
- явление растекания и условия его выполнения. Влияние природы растекающейся жидкости и температуры на коэффициент растекания;
- межфазное натяжение на границе двух взаимнонасыщенных жидкостей. Правило Антонова;
- методы определения поверхностного натяжения на границе раздела «жидкость – газ». Сталагмометрический метод.

**Литература:** [1, с. 16–22, 39–41; 2, с. 33–34, 36–41; 3, с. 78–86, 92–97; 4, с. 153–161, 167–168; 5, с. 54–57; 6, с. 46–60].

### ВОПРОСЫ ДЛЯ ДОПУСКА К ВЫПОЛНЕНИЮ лабораторной работы № 3

**«Определение поверхностного натяжения на границе раздела фаз “жидкость 1 – жидкость 2” (правило Антонова)»**

1. Запишите *правило Антонова* и поясните, как называются величины, входящие в его формулу.

2. Расскажите, как приготовить каждую из двух взаимнонасыщенных жидкостей (водный и органический слои).

3. Назовите метод, которым пользуются в данной работе для определения поверхностного натяжения.

- ♦ Какое положение лежит в основе метода?
- ♦ Нарисуйте и назовите установку, которую используют в данном методе. Какую величину она позволяет рассчитывать?
- ♦ Запишите формулу для вычисления поверхностного натяжения исследуемой жидкости в данном методе.

4. Опишите порядок работы на установке.

- ♦ Как готовят установку перед каждым опытом?
- ♦ Сколько раз повторяют каждый опыт для водного и органического слоев?
- ♦ Нарисуйте таблицу для отображения необходимых экспериментальных данных, которые должны быть получены в ходе выполнения работы.

5. Какая жидкость используется в качестве стандартной и почему? Как рассчитать поверхностное натяжение стандартной жидкости?

**Литература:** [1, с. 18–22, 29–30].

### ВОПРОСЫ ДЛЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ лабораторной работы № 3

#### «Определение поверхностного натяжения на границе раздела фаз “жидкость 1 – жидкость 2” (правило Антонова)»

1. Сформулируйте физический смысл (энергетическое и силовое определения) понятия «*поверхностное натяжение*». В чем особенность межмолекулярного взаимодействия на границе двух несмешивающихся жидкостей в сравнении с границей раздела «жидкость – газ»?

2. Поясните различие в природе сил *когезии* и *адгезии*. Дайте определение *работе когезии*  $A_{\text{ког}}$ . Подумайте, как с помощью величин молярных теплот испарения и сублимации можно оценить интенсивность когезионного взаимодействия в жидкой и твердой фазах?

3. Что такое *адгезия*? Дайте определение *работе адгезии*  $A_{\text{адг}}$  двух несмешивающихся жидкостей. Запишите для этого случая уравнение Дюпре и проанализируйте его.

4. Что такое *смачивание*? Какая величина является количественной характеристикой смачивания? Назовите известные вам виды смачивания (проиллюстрируйте ответ).

5. Что называют *растеканием*?
- ♦ Как количественно характеризуется явление растекания?
  - ♦ При каком условии будет происходить растекание одной жидкости по поверхности другой?
  - ♦ Как характер растекания зависит от температуры и от природы двух жидкостей?
6. Запишите выражение для *коэффициента растекания*  $f$  через поверхностные натяжения граничащих жидкостей и проанализируйте его.
- ♦ Что происходит при длительном контакте двух ограниченно растворимых друг в друге жидкостей?
  - ♦ Как изменяется при этом характер растекания и почему?
7. Получите уравнение Антонова и сформулируйте его правило. Поясните, какую из жидкостей обозначают «ж<sub>1</sub>», а какую – «ж<sub>2</sub>».
8. Назовите методы определения поверхностного натяжения.
- ♦ К какой группе методов относится используемый метод?
  - ♦ Выведите формулу для вычисления поверхностного натяжения исследуемой жидкости данным методом.

**Литература:** [1, с. 4–6, 16–22; 2, с. 33–36, 40–42; 3, с. 78–80, 82–86, 92–97; 4, с. 167–168; 5, с. 54–57; 6, с. 33–36].

**1.3.2. Адгезия и смачивание на границе «твердое тело – жидкость».** Адгезионное взаимодействие жидкости с твердым телом – явление более распространенное, чем адгезия двух жидкостей. Это взаимодействие определяет характер протекания всех капиллярных явлений и имеет огромное значение не только в технологии, но и в процессах жизнедеятельности всего растительного мира. Основными теоретическими вопросами для изучения в данном разделе являются:

- уравнение Дюпре для вычисления адгезии жидкости к твердой поверхности и его анализ;
- характеристика явления смачивания и графическая иллюстрация различных типов смачивания. Краевой угол;
- уравнение Юнга: вывод для случая смачивания и ограниченно смачивания. Анализ уравнения;
- уравнение Дюпре – Юнга. Его использование для вычисления работы адгезии. Связь работы адгезии с величиной когезионного взаимодействия наносимой жидкости;
- лиофильные и лиофобные поверхности. Способы модификации поверхности. Гидрофилизация и гидрофобизация поверхностей;

- методы определения краевого угла (угла смачивания).

**Литература:** [1, с. 16–18, 39–41, 44–45; 2, с. 33–40, 42–44; 3, с. 78–86; 4, с. 153–161, 163, 167–168; 5, с. 54–57; 6, с. 46–54].

## 1.4. Капиллярные явления

**Капиллярные явления** – появление кривизны поверхности жидкости и изменение ее уровня – встречаются повсюду в природе и различных технологиях. Роль этих явлений трудно переоценить: это питание растений, увлажнение почвы грунтовыми водами, пропитка различных материалов и многое другое. При изучении этих явлений следует обратить внимание на следующие вопросы:

- характеристика систем и объектов, где могут наблюдаться капиллярные явления;
- искривление поверхности жидкости (положительная и отрицательная кривизна), заполняющей капилляры. Объяснение этого явления с использованием уравнения Юнга;
- капиллярное давление, причины его возникновения. Влияние капиллярного давления на внутреннее давление жидкости под искривленной поверхностью;
- уравнение Лапласа для поверхностей, имеющих сферическую кривизну. Анализ уравнения. Условие равновесного существования фаз, разделенных искривленной поверхностью;
- изменение уровня жидкости в капилляре: причина и следствие. Уравнение Жюрена и его анализ;
- экспериментальное определение поверхностного натяжения чистой жидкости с использованием уравнения Жюрена;
- роль капиллярных явлений в природе и химической технологии.

**Литература:** [1, с. 41–44; 2, с. 45–50; 3, с. 101–110; 4, с. 163; 5, с. 60–64; 6, с. 42–45].

### ВОПРОСЫ ДЛЯ ДОПУСКА К ВЫПОЛНЕНИЮ лабораторной работы № 5 «Определение угла смачивания. Расчет работы адгезии»

1. Назовите поверхностные явления, которые изучаются в данной работе. Дайте им определения или поясните суть этих явлений.

2. Расскажите, как проводится первая часть работы. Что в ней необходимо вычислить и с какой целью?

- ◆ Поясните манипуляции, проводимые с жидкостью, кюветой и диапроектором.
- ◆ Нарисуйте общий вид картинка, которую вы должны получить на миллиметровой бумаге. Объясните, как графически определяется *угол смачивания*  $\theta$  и вычисляется его косинус. Назовите метод определения угла смачивания.
- ◆ Запишите уравнение, пользуясь которым можно рассчитать *поверхностное натяжение* исследуемой жидкости. Что надо знать для вычислений?
- ◆ Что такое величина  $h$  в этом уравнении, и каким образом она определяется?

3. Расскажите, как проводится вторая часть работы и что является ее целью.

- ◆ Поясните манипуляции, проводимые с пластинами и диапроектором.
- ◆ Нарисуйте варианты картинок, которые в данном опыте можно получить на миллиметровой бумаге, и объясните, как графически определяется угол смачивания  $\theta$  и вычисляется его косинус.
- ◆ Какой метод определения угла смачивания используется в этом опыте?
- ◆ Напишите формулу для вычисления *работы адгезии*  $A_{\text{адг}}$  жидкости к каждой из пластин, укажите ее размерность.

4. Какой вывод необходимо сделать в работе, основываясь на полученных значениях величины работы адгезии? Поясните смысл понятий «*лиофильная*» и «*лиофобная*» поверхность.

**Литература:** [1, с. 39–45, 47–49; 2, с. 38–40].

**ВОПРОСЫ ДЛЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ  
лабораторной работы № 5  
«Определение угла смачивания. Расчет работы адгезии»**

1. Что относится к *адгезионным явлениям*? Укажите отличие в природе сил адгезии и когезии.

- ◆ Дайте определение явления «*адгезия*». Что такое *работа адгезии*?

- ♦ Получите *уравнение Дюпре* для случая адгезионного взаимодействия жидкости и твердого тела, проанализируйте его: поясните, от чего зависит величина работы адгезии (прочность адгезионного взаимодействия).
  - ♦ Дайте определение явления «*когезия*»? Что такое *работа когезии*? Можно ли считать когезионное взаимодействие поверхностным явлением?
2. Что такое *смачивание*?
- ♦ В чем принципиальное отличие смачивания от адгезии?
  - ♦ Назовите основную *количественную характеристику смачивания* и правила ее определения. Какие виды смачивания вам известны?
  - ♦ Выведите *уравнение Юнга*, пояснив характер и величину сил, действующих в любой точке периметра смачивания.
  - ♦ Проанализируйте, от каких величин зависит характер смачивания. Как можно повлиять на величину угла смачивания?
3. Получите *уравнение Дюпре – Юнга* и проанализируйте, как работа адгезии связана с характеристикой смачивания. Объясните, почему величина работы адгезии характеризует такое свойство поверхности, как *лиофильность*.
4. Что такое *капиллярные явления*, и где они наблюдаются?
- ♦ Объясните (с использованием уравнения Юнга), в каком случае возникает *положительная*, а в каком – *отрицательная кривизна* у поверхности жидкости в капилляре.
  - ♦ Приведите примеры, проиллюстрировав ответ рисунками.
5. Что понимают под термином «*капиллярное давление*»?
- ♦ Как возникает капиллярное давление? Куда направлен вектор капиллярного давления в случае смачивания и несмачивания?
  - ♦ Как влияет капиллярное давление на внутреннее давление жидкости с положительной и отрицательной кривизной?
  - ♦ Получите выражения для величины капиллярного давления жидкости (граничащей с газом) с положительной и отрицательной кривизной. Поясните, в каком соотношении находятся величины давления жидкости под плоской и под искривленной поверхностью в каждом из случаев.
6. Запишите *уравнение Лапласа* для вычисления капиллярного давления жидкости, имеющей сферическую поверхность. Проанализируйте уравнение и сформулируйте общие выводы, вытекающие из него.



7. Объясните причину поднятия (опускания) жидкости в капилляре при смачивании (несмачивании). Получите *уравнение Жюрена* для вычисления высоты поднятия (опускания) жидкости в капилляре. Проанализируйте его.

8. Как в данной работе использовалось уравнение Жюрена и с какой целью? Назовите условия, позволяющие применять уравнение Жюрена для вычисления поверхностного натяжения исследуемой жидкости.

**Литература:** [1, с. 16–18, 39–44; 2, с. 33–40; 3, с. 78–80, 82–86; 5, с. 54–57, 60–64; 6, с. 42–52].

---

---

## Раздел 2. ДИСПЕРСНЫЕ СИСТЕМЫ

---

---

Практически весь окружающий нас мир – это дисперсные системы. Их многообразие настолько велико, что не всегда входит в рамки тех классификаций, о которых было сказано ранее. В объеме данного практикума рассматриваются общие методы получения дисперсных систем, их устойчивость и некоторые свойства.

### 2.1. Способы получения и устойчивость дисперсных систем

С точки зрения термодинамической устойчивости дисперсные системы делятся на *лиофильные* и *лиофобные*. Оба типа систем могут получаться в результате процессов диспергирования и конденсации с тем существенным отличием, что лиофильные ДС образуются самопроизвольно и не требуют присутствия стабилизаторов (взаимодействие между частицами фазы и средой в них достаточно велико). Изучение данного раздела требует проработки следующих вопросов:

- общая характеристика лиофильных и лиофобных дисперсных систем. Термодинамическое обоснование возможности самопроизвольного образования и устойчивости лиофильных ДС;
- диспергационные методы получения лиофобных ДС. Эффект адсорбционного понижения прочности (эффект Ребиндера). Проблемы при получении высокодисперсных систем методом диспергирования;
- конденсационные методы. Условия, необходимые для осуществления процесса конденсации. Гомогенная и гетерогенная конденсация. Физическая и химическая конденсация. Примеры. Условия получения высокодисперсных систем (золей) методом конденсации;

- характеристика гидрозолей. Получение гидрозоля методом химической конденсации на примере реакции обмена;
- строение частицы дисперсной фазы гидрозоля, стабилизированного электролитом (строение мицеллы). Распределение ионов в ДЭС в соответствии с теорией Штерна. Понятие об электрокинетическом, или  $\zeta$ -потенциале;
- получение гидрозоля методом физической конденсации (метод замены растворителя) на примере получения «белого» золя канифоли. Строение частиц дисперсной фазы «белого» золя канифоли;
- основные виды устойчивости ДС, предложенные Н. П. Песковым. Факторы устойчивости (стабилизации) дисперсных систем. Понятие о расклинивающем давлении и его составляющих;
- теория ДЛФО – теория устойчивости дисперсных систем, на поверхности частиц которых имеется двойной электрический слой. Кривая общей потенциальной энергии взаимодействия двух частиц и ее виды в системах с различным характером устойчивости.

**Литература:** [1, с. 50–62, 84; 2, с. 98–105, 107–109, 136–141, 182–185, 188–196; 3, с. 115–129, 255, 314–318, 326–328, 372–383, 389–399; 4, с. 184–186, 232–234, 245–255, 281–284; 5, с. 22–25, 228–231, 240–248, 273–276; 6, с. 143–161, 190–200].

## 2.2. Коагуляция и стабилизация гидрозолей

Рассмотрим закономерности процессов разрушения и стабилизации ДС на примере высокодисперсных систем – лиофобных гидрозолей. Среди основных теоретических вопросов по этой теме для рассмотрения выделены следующие:

- возможные схемы разрушения дисперсных систем. Явления коагуляции, коалесценции, прямой и обратной седиментации. Последовательность, в которой протекают процессы разрушения в агрегативно- и седиментационно-неустойчивых системах;
- факторы, вызывающие коагуляцию в лиофобных ДС. Причины понижения устойчивости гидрозолей с точки зрения теории ДЛФО;
- влияние различных факторов на величину потенциала поверхности  $\phi_0$  и заряд коллоидной частицы (электрокинетический, или  $\zeta$ -потенциал). Индифферентные и неиндифферентные электроли-

ты. Графические зависимости  $\phi_0$  и  $\zeta$ -потенциалов от концентрации добавляемых электролитов;

- коагуляция под действием электролитов (электролитная коагуляция). Порог коагуляции  $\gamma$  и коагулирующая способность  $\beta$ ;
- два вида (механизма) электролитной коагуляции: концентрационная и нейтрализационная;
- основные закономерности электролитной коагуляции. Правило Шульце – Гарди;
- эффекты взаимного влияния нескольких ионов-коагуляторов на их коагулирующее действие. Разновидности коагуляции: гетерокоагуляция (взаимная коагуляция), гетероадагуляция;
- кинетика коагуляции. Зависимость скорости коагуляции от различных факторов. Скрытая, медленная и быстрая коагуляции. Виды кривой общей потенциальной энергии в системах, где возможно протекание указанных типов коагуляции;
- теория и уравнение быстрой коагуляции Смолуховского. Константа скорости коагуляции, время половинной коагуляции. Влияние вязкости, температуры и концентрации частиц дисперсной фазы на агрегативную устойчивость системы;
- явление флокуляции. Виды флокулянтов. Механизмы флокуляции;
- принцип турбидиметрического метода анализа и его применение для изучения коагуляции гидрозолей. Объяснение взаимосвязи величины оптической плотности и размеров частиц дисперсной фазы.

**Литература:** [1, с. 58–68, 71–75; 2, с. 160–162, 182–188, 197–212; 3, с. 301–304, 321–326, 384–398; 4, с. 191–196, 259–261, 286–295, 307–311, 478–479; 5, с. 232–239, 243–248, 249–252; 6, с. 162–168, 215–220].

**ВОПРОСЫ ДЛЯ ДОПУСКА К ВЫПОЛНЕНИЮ  
лабораторной работы № 6  
«Изучение коагуляции и стабилизации  
гидрозоля гидроксида железа»**

1. Назовите дисперсную систему, изучаемую в данной работе. Дайте ее краткую характеристику.

2. Что такое *коагуляция*?

- ♦ Под действием чего происходит коагуляция частиц в данной дисперсной системе?

- ♦ Что является характеристикой его коагулирующего действия?
  - ♦ Напишите формулу, дайте определение и укажите размерность этой величины.
3. Опишите ход выполнения первой части работы.
- ♦ Как готовится раствор электролита? Поясните порядок сливания золя и электролита.
  - ♦ Что и как измеряется для полученной смеси?
  - ♦ Нарисуйте таблицу, в которой будут представлены результаты эксперимента.
  - ♦ Изобразите вид графика, который должен быть получен. Какие данные этого графика необходимы для вычислений? Объясните смысл индекса «м» у величины  $V_m$  и «б» у величины  $V_b$ .
4. Опишите ход выполнения второй части работы.
- ♦ Какую функцию выполняет желатина? Как называется и рассчитывается величина, характеризующая действие желатины? Назовите размерность этой величины.
  - ♦ Как готовятся растворы желатины с золем и растворы электролита? Для чего необходимо выждать время перед измерениями?
  - ♦ Нарисуйте таблицу, в которой будут представлены результаты эксперимента.
  - ♦ Изобразите вид графика, который должен быть получен в этой части работы. Какая величина находится из графика?
5. Назовите физико-химический метод анализа, которым пользуются в данной работе.

**Литература:** [1, с. 53, 58–59, 62–63, 74, 76–78, 92–94].

**ВОПРОСЫ ДЛЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ  
лабораторной работы № 6  
«Изучение коагуляции и стабилизации  
гидрозоля гидроксида железа»**

1. Напишите реакцию и назовите метод получения гидрозоля в данной работе.
2. Назовите основные способы получения дисперсных систем. Охарактеризуйте *конденсационные методы* получения.
- ♦ Дайте определение методу конденсации. Какие условия необходимы для его осуществления и почему?

- ♦ Что такое гомогенная и гетерогенная, физическая и химическая конденсация? Приведите примеры.
- ♦ Назовите стадии процесса образования частиц новой фазы и укажите условия получения высокодисперсных систем (золей).

3. Дайте определение системе «*гидрозоле*» с точки зрения всех видов классификации дисперсных систем.

- ♦ Расскажите, как формируется частица дисперсной фазы гидрозоля (мицелла) в процессе химической конденсации. Назовите все составляющие *структурной единицы* дисперсной фазы *гидрозоля* (СЕГ), стабилизированного электролитом.
- ♦ Дайте определение двойному электрическому слою. Опишите строение ДЭС на поверхности частиц гидрозоля в соответствии с теорией Штерна.

4. Назовите *виды устойчивости* дисперсных систем и дайте их определение. Приведите возможные схемы разрушения свобододисперсной системы. Что такое *коагуляция*, *коалесценция*? Какой вид устойчивости нарушается при их протекании?

\*5. Перечислите основные положения теории устойчивости лиофобных дисперсных систем – *теории ДЛФО*.

- ♦ Назовите характер сил взаимодействия между частицами (или составляющие расклинивающего давления), которые учитывает данная теория.
- ♦ Запишите выражения для вычисления энергии притяжения и энергии отталкивания двух сферических частиц дисперсной фазы.
- ♦ Проиллюстрируйте графически кривые зависимости энергии притяжения  $U_{\text{прит}}$  и энергии отталкивания  $U_{\text{от}}$ , а также кривую общей потенциальной энергии взаимодействия двух частиц  $U$  от расстояния между ними  $h$ . Проанализируйте ее ход.
- ♦ Изобразите основные *виды кривых общей потенциальной энергии* и поясните, каким системам с точки зрения их агрегативной устойчивости они соответствуют.

\*6. Назовите основные *факторы устойчивости* (стабилизации) дисперсных систем или составляющие расклинивающего давления и охарактеризуйте их.

7. Перечислите причины, вызывающие коагуляцию дисперсных систем, и ее возможные признаки.

- ♦ Что такое электролитная коагуляция? Дайте определение *порогу коагуляции* (коагулирующей способности).
- ♦ Как объясняет теория ДЛФО причины уменьшения устойчивости (коагуляции) гидрозолей под действием электролитов?
- ♦ Охарактеризуйте два вида (механизма) электролитной коагуляции. Приведите примеры.

8. Перечислите основные закономерности электролитной коагуляции. Сформулируйте *правило Шульце – Гарди*.

9. Запишите формулу для *скорости коагуляции*  $W$  и дайте определение. Нарисуйте график зависимости скорости коагуляции от концентрации добавляемого электролита и проанализируйте все области (используйте для анализа виды кривой общей потенциальной энергии взаимодействия частиц).

10. Расскажите, как вычисляется *защитное число*  $S$ , укажите его размерность и физический смысл. Проиллюстрируйте ответ графиком, полученным в работе. Почему эта величина условная?

11. На чем основан *турбидиметрический метод* анализа? Что такое оптическая плотность  $D$ ? Объясните причины изменения оптической плотности в процессе коагуляции гидрозоля (используйте для ответа необходимые зависимости, отраженные в уравнении Рэлея).

---

\* Вопросы, которые могут не рассматриваться для защиты лабораторной работы (готовятся для ответов на экзамене).

**Литература:** [1, с. 50–56, 58–65, 71–75, 76–78; 2, с. 160–162, 182–185, 197–212; 3, с. 301–304, 314–318, 381–388; 4, с. 259–261, 286–295, 307–311; 5, с. 228–237, 243–248; 6, с. 162–168, 217–220].

### ВОПРОСЫ ДЛЯ ДОПУСКА К ВЫПОЛНЕНИЮ лабораторной работы № 7

#### «Определение параметра флокулирующего действия ВМС»

1. Назовите дисперсную систему, изучаемую в данной работе, и кратко охарактеризуйте ее.

2. Дайте определение явления «*флокуляция*».

3. Как понимать термин «*флокулирующее действие*»? Напишите формулу для вычисления *параметра флокулирующего действия полимера*  $D_{30\%}$ , поясните физический смысл величин, входящих в уравнение.

4. Расскажите порядок выполнения работы.

- ◆ Сколько опытов необходимо провести в работе?
- ◆ Опишите методику приготовления нужного объема изучаемой дисперсной системы без и в присутствии полимера.
- ◆ Что измеряется в процессе каждого опыта?

- ♦ Как рассчитывается объем осветленной части суспензии  $V_{\text{осв}}$  и степень осветления  $\alpha$ ?

5. Какой график необходимо построить после каждого опыта? Проиллюстрируйте предполагаемый вид графика и покажите, какую величину находят из него.

6. Поясните, какие выводы необходимо сделать в работе, рассчитав для каждого ВМС параметр флокулирующего действия.

**Литература:** [1, с. 66, 68–69, 95–96].

### ВОПРОСЫ ДЛЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ лабораторной работы № 7 «Определение параметра флокулирующего действия ВМС»

1. Дайте полную характеристику *суспензии*, изучаемой в данной работе, с учетом всех видов классификации ДС. Укажите характер ее устойчивости (неустойчивости) и способ получения.

2. Назовите основные способы получения дисперсных систем. Опишите особенности *диспергационных методов*.

- ♦ Как называется процесс диспергирования твердой, жидкой и газообразной фазы? Какие типы систем могут при этом получаться (агрегатное состояние фазы и среды)?
- ♦ Почему диспергационные методы требуют больших затрат энергии?
- ♦ В чем заключается эффект адсорбционного понижения прочности (*эффект Ребиндера*)? Какие вещества используются в качестве *понижителей прочности* (твердости), и в чем заключается их действие?

3. Назовите *виды устойчивости* дисперсных систем и дайте их определение.

- ♦ Нарисуйте возможные схемы разрушения свободнодисперсной системы.
- ♦ Что такое «*прямая*» и «*обратная*» *седиментация*? В каких системах они могут наблюдаться?

4. Что такое *флокуляция*, где и с какой целью она применяется? В чем состоит отличие процесса флокуляции от коагуляции?

5. Какие вещества используются в качестве *флокулянтов*? Дайте их краткую характеристику и приведите примеры различных типов флокулянтов.



6. Назовите основные *механизмы флокуляции* и дайте их описание. Приведите доказательства существования указанных механизмов флокуляции.

7. Запишите формулу для вычисления *параметра флокулирующего действия* полимера.

- ♦ Поясните, почему эта величина является относительной.
- ♦ От каких факторов зависит флокулирующее действие полимера?

8. Существует ли *возможность стабилизации* данной ДС полимером, который вызывал ее флокуляцию? Поясните ответ.

9. Назовите известные вам методы изучения флокулирующего действия ВМС.

- ♦ К какому из них относится *седиментационный метод*? На чем он основан?
- ♦ Для каких ДС можно применять седиментационный метод исследования?

**Литература:** [1, с. 50–51, 58–59, 66–69, 95; 2, с. 98–100, 182–188, 213–215, 217–219; 3, с. 15–16, 115–118, 127–128, 221; 4, с. 24–25, 232–234, 322, 366–367, 478–479; 5, с. 22–23, 251–252, 273; 6, с. 190–196, 222–224].

### 2.3. Оптические свойства дисперсных систем

Дисперсные системы обладают рядом интересных свойств, к которым относятся: молекулярно-кинетические, оптические, электрические, структурно-механические и др. Характер проявления каждого из них определяется природой самой ДС: агрегатным состоянием ее фаз, дисперсностью, присущим этой системе видом устойчивости и некоторыми другими условиями. Рассматриваемые в лабораторном практикуме оптические свойства включают изучение следующих теоретических вопросов:

- оптические явления, происходящие при направлении видимого света на дисперсные системы: преломление, поглощение, рассеяние, отражение. Влияние соотношения между длиной волны падающего света и размером (формой) частиц дисперсной фазы на характер явления (оптические свойства);
- явление светорассеяния. Эффект Тиндаля. Теория светорассеяния и уравнение Рэлея. Условия его применимости и анализ. Влияние дисперсности на интенсивность рассеяния света;

- понятия: оптическая плотность, коэффициент пропускания, мутность. Связь между оптической плотностью и мутностью;
- явление светопоглощения в золях. Закон Бугера – Ламберта – Бера в применении к окрашенным дисперсным системам. Влияние дисперсности на окраску;
- основные оптические методы определения размеров и концентрации частиц дисперсной фазы: нефелометрия, турбидиметрия и ультрамикроскопия. Краткая характеристика методов;
- принцип турбидиметрического метода анализа. Его использование для вычисления весовой концентрации частиц фазы (метод Рэлея) и характеристики дисперсности (метод Геллера).

**Литература:** [1, с. 69–76; 2, с. 151–163, 226–227; 3, с. 295–306, 309–310; 4, с. 33–53; 5, с. 38–43; 6, с. 123–130].

**ВОПРОСЫ ДЛЯ ДОПУСКА К ВЫПОЛНЕНИЮ  
лабораторной работы № 8  
«Определение радиуса частиц дисперсной фазы  
эмульсии скипидара»**

1. Охарактеризуйте дисперсную систему «эмульсия скипидара» с точки зрения природы и агрегатного состояния фаз. Как она готовится в данной работе?

2. Как рассчитать весовую концентрацию  $C$  вещества дисперсной фазы, используя объем  $V_x$  и концентрацию спиртового раствора скипидара  $C_0$  и зная заданный объем дисперсной системы  $V_{\text{общ}}$ ? Укажите размерности всех величин.

3. Каким соотношением связана величина весовой концентрации дисперсной фазы  $C$  с объемом  $V$  (размером  $r$ ) ее сферических частиц (капель)?

- ♦ Запишите формулу для вычисления объема частицы, используя уравнение Рэлея, сделав в нем соответствующие преобразования.

- ♦ Назовите все величины, входящие в уравнение, и поясните, какие из них необходимо определить в результате эксперимента.

4. На каком приборе измеряются коэффициенты преломления дисперсной фазы  $n$  и дисперсионной среды  $n_0$  и с какой целью? Расскажите правила работы на приборе и порядок измерений.

5. Объясните, для чего необходимо измерять величину оптической плотности  $D$  полученной эмульсии?

- ♦ Назовите прибор и физико-химический метод анализа, используемый в этих измерениях.
- ♦ Расскажите правила работы на приборе.
- ♦ Укажите, что должно быть в кювете сравнения.

6. Напишите формулу для вычисления среднего радиуса  $r$  сферических частиц дисперсной фазы и оцените интервал допустимых размеров. Назовите метод, используемый в работе для определения размеров частиц.

**Литература:** [1, с. 56–57, 74–75, 96–97].

**ВОПРОСЫ ДЛЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ  
лабораторной работы № 8  
«Определение радиуса частиц дисперсной фазы  
эмульсии скипидара»**

1. Дайте полную характеристику дисперсной системе, которую изучали в данной работе.

- ♦ Охарактеризуйте *эмульсию скипидара* с точки зрения известных вам типов классификаций дисперсных систем.
- ♦ Назовите метод получения эмульсии и дайте его определение.
- ♦ Поясните с помощью рисунка принцип стабилизации изучаемой системы.
- ♦ Перечислите факторы, которые могут влиять на размер капель дисперсной фазы эмульсии.

2. Дайте общую характеристику оптических явлений, которые могут наблюдаться в дисперсных системах.

- ♦ Какие факторы определяют характер оптического явления?
- ♦ Запишите известные вам выражения для интенсивности света, прошедшего через дисперсную систему  $I_{пр}$ . Поясните смысл всех величин, стоящих в уравнениях.
- ♦ Что такое *оптическая плотность  $D$*  и *коэффициент пропускания  $T$* ? Как эти характеристики связаны между собой?
- ♦ Что характеризует *мутность системы  $\tau$* , и как рассчитывается эта величина? Получите уравнение, связывающее мутность системы и ее оптическую плотность.

3. Опишите, что происходит со световым лучом при рассеянии света. Кем впервые описано явление светорассеяния, и где его можно наблюдать?

4. Для каких систем можно применять теорию светорассеяния Рэлея?

♦ Запишите уравнение Рэлея и поясните смысл всех входящих в него величин. Проанализируйте его.

♦ Какие системы выглядят мутными и почему?

5. На чем основан турбидиметрический метод анализа?

♦ Перечислите, для вычисления каких характеристик дисперсной системы можно применять данный метод.

♦ Расскажите, на чем основан метод Рэлея. Как преобразуют в этом методе уравнение Рэлея и с какой целью? Укажите смысл и размерности используемых в нем величин.

**Литература:** [1, с. 51–53, 56–57, 69–75; 2, с. 101–102, 151–156, 160–163, 227–233; 3, с. 222–223, 295–298, 301–304; 4, с. 33–42; 5, с. 24].

**ВОПРОСЫ ДЛЯ ДОПУСКА К ВЫПОЛНЕНИЮ  
лабораторной работы № 9  
«Определение среднего диаметра частиц  
“белого” золь канифоли»**

1. Что из себя представляет канифоль с точки зрения химического состава? Какие свойства проявляет канифоль при растворении в этиловом спирте и в воде?

2. Поясните, какие системы в коллоидной химии называют золями и почему – «белыми». Как готовится «белый» золь канифоли в данной работе?

3. Расскажите, какую величину и на каком приборе измеряют для полученного золь канифоли. Как называется физико-химический метод анализа, используемый в работе?

4. Проиллюстрируйте вид графика с указанием координат, который необходимо построить в работе по результатам эксперимента. Чьим уравнением вы пользовались? Какая величина определяется из графика?

5. Объясните, как, зная величину характеристики дисперсности  $m$ , можно определить радиус частиц  $r$  изучаемой дисперсной системы.

6. Как называется метод, используемый в работе для вычисления размеров частиц, и для исследования каких ДС его можно применять?

**Литература:** [1, с. 57–58, 69–76, 97–98].

**ВОПРОСЫ ДЛЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ  
лабораторной работы № 9  
«Определение среднего диаметра частиц  
“белого” золя канифоли»**

1. Охарактеризуйте дисперсную систему, изучаемую в данной работе, в соответствии с известными типами классификации ДС.

- ♦ Назовите и дайте определение методу, которым получали золь в данной работе. Опишите его разновидности.
- ♦ Укажите условия, необходимые для получения этим методом высокодисперсной системы. Обоснуйте ответ.

2. Напишите формулу структурной единицы дисперсной фазы «белого» золя канифоли и назовите все ее составляющие. Поясните, какой реагент выполнял роль стабилизатора.

3. Как связаны мутность или оптическая плотность с длиной волны для «белых» золь? Объясните, как, используя *уравнение Рэлея*, можно получить *эмпирическое уравнение Геллера*.

4. К какому физико-химическому методу анализа принадлежат *метод Рэлея* и *метод Геллера*?

- ♦ Поясните, в чем заключается их различие.
- ♦ Назовите примерный интервал значений размеров частиц, которые могут быть определены в каждом из методов. Обоснуйте ответ.

**Литература:** [1, с. 51–53, 56–58, 69–76; 2, с. 101–103, 151–156, 160–163; 3, с. 127, 222, 295–298, 301–304; 5, с. 13, 23–25, 38–41].

**2.4. Электрокинетические явления  
в дисперсных системах**

Дисперсные системы, в которых на частицах фазы присутствует ДЭС (в результате использования ионогенных стабилизаторов), обла-

дают рядом интересных электрических свойств. Проявление этих свойств наблюдается при протекании в этих системах электрокинетических явлений. Для понимания природы и механизма электрокинетических явлений необходимо рассмотреть следующие теоретические вопросы:

- причины и механизм возникновения ДЭС на поверхности частиц дисперсной фазы (ионная адсорбция). Особенности адсорбции ионов на незаряженной и заряженной поверхности. Определение ДЭС и его строение в соответствии с теорией Штерна;
- строение структурной единицы дисперсной фазы гидрозоля, стабилизированного электролитом. Потенциал поверхности  $\phi_0$  и потенциал диффузного слоя  $\phi_\delta$ . Плоскость скольжения. Электрокинетический, или  $\zeta$ -потенциал;
- четыре вида электрокинетических явлений. История их открытия. Деление электрокинетических явлений по причинно-следственной связи на прямые (электроосмос и электрофорез) и обратные (потенциал течения и потенциал седиментации);
- уравнение Гельмгольца – Смолуховского для электроосмоса и электрофореза. Экспериментальные методы определения электрокинетического потенциала;
- электрофоретический и релаксационный эффекты торможения, наблюдаемые в дисперсных системах при наложении на них электрического поля;
- практическое применение электрокинетических явлений. Примеры возникновения потенциала течения и потенциала седиментации.

**Литература:** [1, с. 53–56, 78–83; 2, с. 93–94, 136–150; 3, с. 56–57, 67–68, 71–77, 256–267, 270–271; 4, с. 146–148, 169–174, 184–186, 202–208; 5, с. 166–172, 191–200, 209; 6, с. 109–120].

**ВОПРОСЫ ДЛЯ ДОПУСКА К ВЫПОЛНЕНИЮ  
лабораторной работы № 10  
«Получение гидрозоля берлинской лазури.  
Электрофоретическое определение  
электрокинетического потенциала»**

1. Что в коллоидной химии называют *гидрозолем*? Дайте краткую характеристику этой дисперсной системы.

2. Расскажите, как готовится золь в данной работе, и напишите реакцию его получения. Напишите два возможных варианта строения СЕГ (учитывая два возможных варианта стабилизатора).

3. Дайте определение электрокинетического явления, которое называют «электрофорез».

4. Нарисуйте установку для проведения макроэлектрофореза. Расскажите принцип *электрофоретического метода*: как проводится эксперимент, что и с какой целью в нем определяют.

- ♦ Запишите *уравнение Гельмгольца – Смолуховского* для электрофореза и назовите величину, которую рассчитывают по этому уравнению.

- ♦ Укажите смысл всех величин, входящих в уравнение, и их размерность.

- ♦ Какие экспериментальные данные нужны для вычислений, как их можно получить?

5. Объясните, как в ходе эксперимента определяют знак заряда коллоидных частиц исследуемого гидрозоль. Можно ли по этим данным определить, какой электролит выполнял функции стабилизатора?

**Литература:** [1, с. 53–56, 78–79, 82–83, 98–99].

**ВОПРОСЫ ДЛЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ  
лабораторной работы № 10  
«Получение гидрозоль берлинской лазури.  
Электрофоретическое определение  
электрокинетического потенциала»**

1. Дайте определение системе «гидрозоль» с точки зрения всех видов классификации дисперсных систем.

2. Назовите и охарактеризуйте метод, которым получали гидрозоль в данной работе.

3. Почему рассматриваемые явления называются «*электрокинетическими*»? Назовите известные вам электрокинетические явления и дайте определение каждому из них.

- ♦ По какому признаку эти явления делятся на *прямые* и *обратные*?

- ♦ В каких ДС эти явления могут наблюдаться?

- ♦ Опишите историю и назовите авторов открытия этих явлений.

4. Объясните, с учетом теории строения ДЭС, причину самостоятельного движения фаз в этих явлениях. Раскройте причину движения дисперсионной среды при протекании электроосмоса и потенциала течения.

5. Что называют *плоскостью скольжения*, и где может проходить ее граница?

- ♦ Как называется потенциал на границе плоскости скольжения? Чем определяется его величина, если плоскость скольжения совпадает с границей адсорбционного и диффузного слоя противоположно заряженных ионов?

- ♦ Проиллюстрируйте положение плоскости скольжения на графике зависимости величины потенциала в ДЭС  $\phi$  от расстояния до поверхности  $r$ .

6. Напишите уравнения для вычисления *электрокинетического потенциала* при проведении *электрофореза* и *электроосмоса*. Что определяют экспериментально в каждом из этих методов?

7. Назовите, если вам известны, причины приближенного вычисления величины электрокинетического потенциала указанными методами. (Причины отличия экспериментально полученной величины от теоретически рассчитанной.)

8. Поясните, как по результатам проведенного электрофоретического эксперимента можно определить, какой из электролитов является стабилизатором исследуемого гидрозоля.

9. Напишите формулу СЕГ, исследуемого в данной работе, учитывая полученные экспериментальные данные о знаке заряда коллоидных частиц (знаке электрокинетического потенциала). Назовите все составляющие СЕГ.

**Литература:** [1, с. 50–56, 78–83; 2, с. 93–94, 136–150; 3, с. 67–68, 73–77, 256–267; 4, с. 169–174, 184–186, 202–208; 5, с. 191–200, 209; 6, с. 109–120].

## 2.5. Лиофильные дисперсные системы. Коллоидные ПАВ

К лиофильным дисперсным системам относят мицеллярные растворы коллоидных ПАВ, критические эмульсии, растворы ВМС.

Главной особенностью этих систем является способность к самопроизвольному образованию и термодинамическая устойчивость (отсутствие необходимости в их стабилизации). Изучим некоторые аспекты



поведения и свойств этих систем на примере коллоидных ПАВ. Для этого к рассмотрению предлагаются следующие теоретические вопросы:

- общая характеристика лиофильных и лиофобных дисперсных систем. Термодинамическое обоснование возможности самопроизвольного образования лиофильных систем;
- общая характеристика и классификация коллоидных ПАВ (строение молекул, поведение в водных растворах);
- явление мицеллообразования. Механизм и термодинамика процесса. Критическая концентрация мицеллообразования (ККМ). Виды и форма мицелл. Жидкие кристаллы;
- обратимость лиофильных мицеллярных систем на примере коллоидных ПАВ. Явление тиксотропии;
- фазовая диаграмма раствора коллоидного ПАВ. Иллюстрация двух способов получения мицеллярного раствора коллоидного ПАВ;
- общие принципы определения ККМ. Зависимость величины ККМ от различных факторов;
- отличительные свойства коллоидных ПАВ. Явление солюбилизации. Моющее действие. Использование в качестве стабилизаторов;
- решение экологических проблем: очистка окружающей среды от промышленных и бытовых отходов ПАВ.

**Литература:** [1, с. 50, 84–91; 2, с. 16–18, 107–117; 3, с. 326–328, 333–351; 4, с. 25–28, 315–318, 399–415; 5, с. 15, 316–330; 6, с. 297–311].

### **ВОПРОСЫ ДЛЯ ДОПУСКА К ВЫПОЛНЕНИЮ лабораторной работы № 11**

#### **«Определение критической концентрации мицеллообразования в растворах коллоидных поверхностно-активных веществ»**

1. Какие вещества называют *поверхностно-активными*, или ПАВ? Что такое коллоидные ПАВ, и почему их так называют? Чем коллоидные ПАВ отличаются от истинно растворимых?

2. Поясните смысл понятия «*критическая концентрация мицеллообразования*». Нарисуйте вид *сферических мицелл* в полярном растворителе.

3. Проиллюстрируйте вид графика с указанием осей, который должен быть получен в данной работе. Какие экспериментальные

данные надо иметь для его построения? Как из графика определяют величину ККМ?

4. Расскажите, как готовятся в данной работе растворы неионогенного поверхностно-активного вещества (НПАВ). Приведите примеры необходимых вычислений.

5. Назовите метод, которым пользуются в работе для определения поверхностного натяжения  $\sigma$ .

- ♦ Нарисуйте схему *установки Ребиндера* и опишите принцип ее работы. Каков порядок заполнения сосуда приготовленными растворами?
- ♦ Напишите формулу для вычисления *поверхностного натяжения* исследуемого раствора по данному методу? Назовите все величины и поясните способ их определения или вычисления.
- ♦ Что такое константа сосуда  $K$ ? Какую жидкость выбирают в качестве стандартной?

**Литература:** [1, с. 7–8, 20, 22–25, 84, 86, 89, 99–101].

### ВОПРОСЫ ДЛЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ лабораторной работы № 11

#### «Определение критической концентрации мицеллообразования в растворах коллоидных поверхностно-активных веществ»

1. Сформулируйте определение «*дисперсная система*»? Дайте характеристику *лиофильным* и *лиофобным* дисперсным системам. Сделайте термодинамическое обоснование возможности самопроизвольного образования и устойчивости лиофильных систем. Приведите примеры таких систем.

2. Охарактеризуйте *коллоидные ПАВ* (строение и свойства). Приведите известную вам классификацию коллоидных ПАВ. Назовите примеры соединений, относящихся к ионогенным и неионогенным коллоидным ПАВ. Поясните термины «анионоактивные», «катионоактивные», «амфолитные» ПАВ.

3. Опишите механизм и термодинамику *процесса мицеллообразования*.

- ♦ Нарисуйте форму и назовите виды мицелл в полярных и неполярных растворителях.
- ♦ Какие процессы происходят в мицеллярном растворе при увеличении концентрации коллоидного ПАВ? Изменя-

ется ли при этом концентрация дисперсионной среды (истинного раствора ПАВ)?

4. В чем заключается *обратимость лиофильных мицеллярных систем*? Поясните это свойство схематическим равновесием и укажите факторы, влияющие на него. Что такое явление тиксотропии?

5. Нарисуйте *фазовую диаграмму раствора коллоидного ПАВ*. Объясните смысл всех областей и линий. Назовите два способа получения мицеллярного раствора коллоидного ПАВ и проиллюстрируйте эти способы с помощью диаграммы.

6. На чем основаны *методы определения ККМ*? Проиллюстрируйте ответ рисунками. Назовите интервал численных значений этой величины. Как зависит величина ККМ от различных факторов?

7. Назовите свойства коллоидных ПАВ, отличающие их от истинно растворимых.

- ♦ Дайте определение явления «*солюбилизация*», понятиям «*солюбилизатор*» и «*солюбилизат*».
- ♦ Как количественно оценить солюбилизирующую способность ПАВ?
- ♦ Опишите возможные механизмы солюбилизации с помощью рисунков.
- ♦ Приведите примеры процессов, где может наблюдаться или использоваться это явление.

8. Что составляет основу синтетических моющих средств и почему? Назовите, что включает в себя понятие «*моющее действие*»? В чем заключается основная роль ПАВ, входящих в состав детергентов?

**Литература:** [1, с. 50, 84–91; 2, с. 16–18, 107–117; 3, с. 326–328, 333–351; 4, с. 25–26, 315–318, 399–415; 5, с. 15, 316–330].

### Требования по оформлению отчета по лабораторным работам

Отчет по лабораторной работе является документом, по которому преподаватель оценивает уровень подготовки исполнителя и качество выполненной работы. Уровень квалификации характеризуется тем, как исполнитель понимает и формулирует теоретический материал, т. е. суть работы, насколько правильно, сжато и последовательно излагает экспериментальную часть, каким образом оценивает и анализирует полученные результаты и формулирует из них выводы. Учитывая вышесказанное, к оформлению отчета необходимо подходить ответственно и с соблюдением следующих требований.

Отчет должен быть оформлен на отдельных листах любого формата с указанием курса, группы и личных данных студента.

Отчет должен содержать: название лабораторной работы и формулировку ее цели, краткое теоретическое введение, экспериментальную часть с необходимыми рисунками или графиками и выводы.

**Цель работы.** Формулировка цели работы должна охватывать конкретный перечень задач или вопросов, которые решаются при ее выполнении. Например, в лабораторной работе «Определение поверхностной активности ПАВ» в качестве цели не стоит повторять название работы, рекомендуется написать следующее: «Ознакомиться с методом наибольшего давления в пузырьке воздуха (методом Ребиндера), используемым для оценки поверхностного натяжения на границе “жидкость – газ”. Научиться рассчитывать величину поверхностного натяжения раствора и строить изотерму поверхностного натяжения».

**Теоретическое введение.** Введение должно обязательно содержать теоретическое определение или характеристику изучаемой системы, явления. Во введении должны быть кратко изложены законы или вытекающие из него зависимости или соотношения, используемые при вычислениях, указаны методы физико-химического анализа, применяемые в процессе исследования. Объем теоретической части не должен превышать одну страницу и обязан содержать самые существенные моменты теоретического описания, относящиеся непосредственно к выполнению данной лабораторной работы.

**Экспериментальная часть.** Данная часть оформления должна начинаться с пояснения, что необходимо сделать (рассчитать, постро-

ить, определить и т. п.) для решения поставленной задачи. Далее должно следовать описание хода эксперимента, его условий, результатов наблюдений или полученных вычислений с обязательными комментариями, поясняющими все приводимые формулы и расчеты. Каждая рассчитанная величина должна иметь размерность.

Все расчеты должны быть приведены полностью, чтобы можно было легко проверить весь ход вычислений и при необходимости найти ошибку. Как правило, все экспериментальные данные представляют в виде таблиц, а при необходимости строят соответствующие графические зависимости (см. приложение 2).

**Выводы.** В конце письменного отчета должны быть сформулированы краткие выводы в точном соответствии с целью работы. Эти выводы могут также сопровождаться аргументацией с использованием экспериментально рассчитанных величин или известных теоретических положений. Например, в выводах могут содержаться фразы «Получено..., что хорошо согласуется с...», или «Установлено..., так как...» и др.

## Требования к графическому представлению экспериментальных данных

Для построения графика в прямоугольной системе координат необходимо использовать два параметра: значения независимой переменной, которые задаются условием или экспериментатором (откладываются по оси абсцисс), и значения функции, рассчитанные или полученные для соответствующей переменной (откладываются по оси ординат).

Грамотное построение графика начинают с оценки размеров и масштаба координатных осей. Для этого по разности максимального и минимального значений параметра каждой из осей определяют интервал его изменения и подбирают нужную длину соответствующей оси. Если находимая из графика величина не требует проведения экстраполяции, то ось абсцисс так же, как и ось ординат, можно начинать не с нуля, а с ближайшего к минимальному значения параметра.

При выборе масштаба необходимо помнить следующее:

- интервал масштаба в десятичной системе координат должен учитывать, что единице (или 0,1; 10; 100 и т. п.) измеряемой величины должны соответствовать 1, 2 или 5 миллиметров (сантиметров) на оси. В этом случае не будет необходимости прибегать к дополнительным расчетам;
- экспериментальные точки не должны сливаться друг с другом. Этого добиваются подбором соотношения масштабов по осям. При этом сама графическая зависимость должна занимать всю площадь графика, а не отдельную ее область. Оптимальным вариантом будет также расположение прямой (или линии с небольшой кривизной) под углом обычно  $\sim 45^\circ$ , позволяющим точно производить требуемую операцию: проводить касательную, рассчитывать тангенс и т. д.;
- в конце каждой оси необходимо указать условное обозначение откладываемой величины и ее размерность, например  $C$ , моль/л. Если измеряемая величина выражается многозначными числами, т. е. имеет множитель  $10^{\pm m}$ , то используют два способа записи множителя рядом с условным обозначением. Например, если величина концентрации имеет порядок  $10^{-3}$  моль/л, тогда на оси графика это можно отразить двумя способами:  $C$ ,  $10^{-3}$ , моль/л или  $C \cdot 10^3$ , моль/л. Оба варианта используются в литературе и допускаются при оформлении графиков.

По нанесенным на график экспериментальным точкам строят соответствующую функциональную зависимость – прямую или кривую, – общий вид которой определяется теоретической зависимостью, известной для изучаемого явления или системы. При этом линию необходимо проводить так, чтобы экспериментальные точки располагались равномерно и симметрично относительно нее (очевидно, что в процессе эксперимента возможны различные ошибки и это вызывает разброс точек). В отдельных случаях некоторые точки могут «выпасть» из общей зависимости, что свидетельствует об ошибке самого экспериментатора. Такую точку (или точки) при усреднении отбрасывают.

Подпись под рисунком должна содержать его номер (если их несколько), название изображенной зависимости и расшифровку условных обозначений на осях графика.

---

---

# ЛИТЕРАТУРА

---

---

## Основная

1. Поверхностные явления и дисперсные системы: лабораторный практикум / А. А. Шершавина [и др.]. – Минск: БГТУ, 2005.
2. Клындюк, А. И. Поверхностные явления и дисперсные системы: учеб. пособие / А. И. Клындюк. – Минск: БГТУ, 2011.
3. Фролов, Ю. Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы / Ю. Г. Фролов. – М.: Химия, 1989.
4. Воюцкий, С. С. Курс коллоидной химии / С. С. Воюцкий. – М.: Химия, 1976.

## Дополнительная

5. Фридрихсберг, Д. А. Курс коллоидной химии / Д. А. Фридрихсберг. – СПб.: Химия, 1995.
6. Зимон, А. Д. Коллоидная химия / А. Д. Зимон, И. Ф. Лещенко. – М.: Агар, 2003.



---

---

# ОГЛАВЛЕНИЕ

---

---

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	3
ВВЕДЕНИЕ .....	5
Раздел 1. ПОВЕРХНОСТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ .....	8
1.1. Поверхностная энергия и поверхностное натяжение .....	8
Вопросы для допуска к выполнению лабораторной работы № 1 «Определение поверхностной активности ПАВ» .....	9
Вопросы для теоретической защиты лабораторной работы № 1 «Определение поверхностной активности ПАВ» .....	10
1.2. Адсорбция .....	12
1.2.1. Адсорбция на границе «жидкость – газ» .....	12
Вопросы для допуска к выполнению лабораторной работы № 2 «Определение площади, занимаемой молекулой ПАВ в поверхностном слое» .....	13
Вопросы для теоретической защиты лабораторной работы № 2 «Определение площади, занимаемой молекулой ПАВ в поверхностном слое» .....	14
1.2.2. Адсорбция на границе «твердое тело – жидкость» ...	15
Вопросы для допуска к выполнению лабораторной работы № 4 «Определение удельной поверхности твердого адсорбента»	16
Вопросы для теоретической защиты лабораторной работы № 4 «Определение удельной поверхности твердого адсорбента»	17
1.3. Адгезионные явления .....	18
1.3.1. Адгезия (смачивание и растекание), происходящая при контакте двух жидкостей .....	19
Вопросы для допуска к выполнению лабораторной работы № 3 «Определение поверхностного натяжения на границе раз- дела фаз “жидкость 1 – жидкость 2” (правило Антонова)» .....	19
Вопросы для теоретической защиты лабораторной работы № 3 «Определение поверхностного натяжения на границе раз- дела фаз “жидкость 1 – жидкость 2” (правило Антонова)».....	20

1.3.2. Адгезия и смачивание на границе «твердое тело – жидкость» .....	21
1.4. Капиллярные явления .....	22
Вопросы для допуска к выполнению лабораторной работы № 5 «Определение угла смачивания. Расчет работы адгезии»	22
Вопросы для теоретической защиты лабораторной работы № 5 «Определение угла смачивания. Расчет работы адгезии»	24
Раздел 2. ДИСПЕРСНЫЕ СИСТЕМЫ .....	26
2.1. Способы получения и устойчивость дисперсных систем ...	26
2.2. Коагуляция и стабилизация гидрозолей .....	27
Вопросы для допуска к выполнению лабораторной работы № 6 «Изучение коагуляции и стабилизации гидрозоля гидроксида железа» .....	28
Вопросы для теоретической защиты лабораторной работы № 6 «Изучение коагуляции и стабилизации гидрозоля гидроксида железа» .....	29
Вопросы для допуска к выполнению лабораторной работы № 7 «Определение параметра флокулирующего действия ВМС»	31
Вопросы для теоретической защиты лабораторной работы № 7 «Определение параметра флокулирующего действия ВМС»	32
2.3. Оптические свойства дисперсных систем .....	33
Вопросы для допуска к выполнению лабораторной работы № 8 «Определение радиуса частиц дисперсной фазы эмульсии скипидара» .....	34
Вопросы для теоретической защиты лабораторной работы № 8 «Определение радиуса частиц дисперсной фазы эмульсии скипидара» .....	35
Вопросы для допуска к выполнению лабораторной работы № 9 «Определение среднего диаметра частиц “белого” золя канифоли» .....	36
Вопросы для теоретической защиты лабораторной работы № 9 «Определение среднего диаметра частиц “белого” золя канифоли» .....	37
2.4. Электрокинетические явления в дисперсных системах .....	37
Вопросы для допуска к выполнению лабораторной работы № 10 «Получение гидрозоля берлинской лазури. Электрофоретическое определение электрокинетического потенциала» ....	38

Вопросы для теоретической защиты лабораторной работы № 10 «Получение гидрозоля берлинской лазури. Электрофоретическое определение электрокинетического потенциала» ....	39
2.5. Лиофильные дисперсные системы. Коллоидные ПАВ .....	40
Вопросы для допуска к выполнению лабораторной работы № 11 «Определение критической концентрации мицеллообразования в растворах коллоидных поверхностно-активных веществ» .....	41
Вопросы для теоретической защиты лабораторной работы № 11 «Определение критической концентрации мицеллообразования в растворах коллоидных поверхностно-активных веществ» .....	42
ПРИЛОЖЕНИЕ 1 .....	44
ПРИЛОЖЕНИЕ 2 .....	46
ЛИТЕРАТУРА .....	48

# ФИЗИЧЕСКАЯ И КОЛЛОИДНАЯ ХИМИЯ

Составитель

**Шичкова** Татьяна Александровна

Редактор *Ю. А. Ирхина*

Компьютерная верстка *Ю. А. Ирхина*

Корректор *Ю. А. Ирхина*

Подписано в печать 22.05.2012. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.  
Усл. печ. л. 3,0. Уч.-изд. л. 3,1.  
Тираж 100 экз. Заказ .

Издатель и полиграфическое исполнение:

УО «Белорусский государственный технологический университет».

ЛИ № 02330/0549423 от 08.04.2009.

ЛП № 02330/0150477 от 16.01.2009.

Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.