

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

**Кафедра физической и коллоидной химии**

# **ПОВЕРХНОСТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ И ДИСПЕРСНЫЕ СИСТЕМЫ**

**Программа, методические указания к выполнению  
лабораторных работ для студентов  
химико-технологических специальностей  
заочной формы обучения**

Минск 2010

УДК 544.7(075.4)

ББК 24.6 я73

П42

Рассмотрены и рекомендованы к изданию редакционно-издательским советом университета

Составители: *Л. Я. Крисько, Г. Г. Эмелло*

Рецензент доц. кафедры ХПД БГТУ,  
канд. техн. наук *Ж. В. Бондаренко*

По тематическому плану изданий учебно-методической литературы университета на 2010 год. Поз. 143.

Для студентов химико-технологических специальностей заочной формы обучения.

© УО «Белорусский государственный  
технологический университет», 2010

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Дисциплина «Поверхностные явления и дисперсные системы» занимает важное место в системе подготовки специалистов для разных областей промышленности. Она завершает общехимическую подготовку будущих химиков-технологов и предшествует изучению специальных технологических дисциплин. Объектами изучения ее являются гетерогенные (дисперсные) системы и процессы, протекающие в межфазном поверхностном слое (поверхностные явления).

Химики-технологи сталкиваются с дисперсными системами на всех стадиях технологического процесса: при измельчении сырья и промежуточных продуктов, флотации, фильтрации, брикетировании, спекании, гранулировании. Важную роль в различных областях человеческой деятельности играют также и поверхностные явления, такие, как адсорбция и адгезия, смачивание и капиллярные явления, коагуляция и флокуляция. Поэтому эффективное управление технологическими процессами и решение вопросов по защите окружающей среды невозможно без знания свойств дисперсных систем, способов их получения, стабилизации и разрушения, а также условий и закономерностей протекания поверхностных явлений.

На лабораторных занятиях по дисциплине «Поверхностные явления и дисперсные системы» студенты должны освоить методы исследования поверхностных явлений с целью получения их количественных характеристик, способы изучения дисперсных систем, научиться обрабатывать результаты эксперимента, делать соответствующие выводы. В связи с этим в настоящее методическое пособие включены теоретические основы таких поверхностных явлений, как адсорбция, адгезия, смачивание; рассмотрены методы получения, стабилизации и разрушения лиофобных дисперсных систем (зелей, суспензий, эмульсий). Особое внимание уделено роли поверхностно-активных веществ, регулирующих протекание поверхностных явлений в дисперсных системах.

В методической части пособия описаны наиболее часто используемые методы исследования поверхностных явлений и дисперсных систем. Экспериментальная часть включает методики выполнения лабораторных работ и обработки экспериментальных результатов. Настоящее пособие поможет студентам сознательно и успешно выполнить лабораторный практикум и закрепить теоретический материал дисциплины «Поверхностные явления и дисперсные системы».

# 1. ПРОГРАММА

## Введение

Основные разделы и направления науки о поверхностных явлениях и дисперсных системах. Объекты и цели изучения. Понятие о поверхностных явлениях и дисперсных системах. Роль поверхностных явлений и дисперсных систем в природе и народном хозяйстве.

### Раздел 1. Поверхностные явления

[1, гл. IV, § 1, гл. V, § 1–6, гл. VI, § 1–5, гл. VII, § 2; 2, гл. II А § 2, 3, Б § 1, 3, 4, Г § 1, 3–8, Д § 2–4; 3, гл. I § 1.3–1.6, гл. II § 2.1, 2.3]

Поверхностное натяжение как мера свободной поверхностной энергии, его силовая и энергетическая трактовки. Вещества, изменяющие поверхностное натяжение растворителя. Поверхностно-активные вещества (ПАВ), особенности строения их молекул. Поверхностная активность. Сталагмометрический метод определения поверхностного натяжения.

Адгезия и когезия. Смачивание и несмачивание твердой поверхности жидкостью. Угол смачивания. Закон Юнга. Уравнение Дюпре –Юнга. Избирательное смачивание. Лиофильность и лиофобность поверхностей твердых тел. Значение явлений адгезии и смачивания в химической технологии.

Термодинамические условия растекания жидкостей. Коэффициент растекания по Гаркинсу. Межфазное натяжение на границе между взаимно насыщенными жидкостями. Правило Антонова.

Влияние кривизны поверхности жидкости на внутреннее давление. Капиллярное давление, закон Лапласа. Капиллярные явления. Капиллярное поднятие жидкости, уравнение Жюрена.

Адсорбция как поверхностное явление. Адсорбат и адсорбент. Природа адсорбционных сил. Физическая адсорбция, хемосорбция. Полярные и неполярные твердые адсорбенты. Молекулярная адсорбция из растворов неэлектролитов на твердых адсорбентах. Факторы, влияющие на молекулярную адсорбцию: природа адсорбента, адсорбата и среды, температура. Правило уравнивания полярностей Ребиндера. Экспериментальный метод определения удельной поверхности твердого адсорбента.

Адсорбция ионов из растворов электролитов на твердых адсорбентах (ионная адсорбция). Двойной электрический слой (ДЭС).

Ионообменная адсорбция. Природные и синтетические иониты, их классификация. Роль ионообменной адсорбции при химических способах очистки воды.

### Раздел 2. Дисперсные системы

[1, гл. VIII, § 1–3, гл. IX, § 1, 4, 5, гл. XII, § 1, 2, гл. XIII, § 1, 2;

Понятие о дисперсных системах. Дисперсная фаза и дисперсионная среда. Признаки дисперсных систем: гетерогенность и дисперсность. Классификации дисперсных систем по размерам частиц дисперсной фазы и по агрегатному состоянию фаз. Лиофильные и лиофобные дисперсные системы. Диспергационные и конденсационные способы получения дисперсных систем.

Гидрозоли. Получение гидрозолей методом химической конденсации. Особенности стабилизации гидрозолей. Строение структурной единицы дисперсной фазы гидрозоля. Устойчивость и коагуляция гидрозолей. Виды устойчивости: агрегативная и седиментационная. Коагуляция, коалесценция, седиментация. Электролитная коагуляция гидрозолей. Порог коагуляции, ион-коагулятор. Правило Шульце –Гарди. Экспериментальный метод определения порога медленной коагуляции гидрозолей.

Суспензии, их классификация. Агрегативно устойчивые и агрегативно неустойчивые суспензии, особенности их седиментации. Методы получения разбавленных и концентрированных суспензий. Свойства разбавленных и концентрированных суспензий. Стабилизация и флокуляция суспензий растворами высокомолекулярных соединений (ВМС). Экспериментальный метод определения параметра флокулирующего действия ВМС. Применение флокуляции и коагуляции для очистки сточных вод химических производств от взвешенных частиц.

Эмульсии, их классификация. Прямые и обратные эмульсии. Методы определения типа эмульсии. Способы получения эмульсий. Стабилизация эмульсий растворами ПАВ, ВМС и порошками. Правило Банкрофта. Обращение фаз эмульсий. Практическое применение природных и искусственно полученных эмульсий.

Коллоидные растворы ПАВ – лиофильные дисперсные системы. Мицеллообразование, строение мицелл. Критическая концентрация мицеллообразования (ККМ). Факторы, влияющие на ККМ.

## 2. ПОВЕРХНОСТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

*Поверхностными явлениями* называют процессы, происходящие на границе раздела фаз в межфазном поверхностном слое. Эти явления протекают самопроизвольно, что обусловлено стремлением системы к уменьшению избыточной энергии поверхностного слоя.

### 2.1. Поверхностное натяжение на границах раздела «жидкость – газ», «жидкость – жидкость»

Рассмотрим границу раздела «жидкость – газ». Молекулы жидкости, находящиеся в поверхностном слое, отличаются от молекул внутри жидкой фазы по своему энергетическому состоянию. Молекулы внутри фазы окружены себе подобными, и силы межмолекулярного взаимодействия в этом случае скомпенсированы. Для молекул поверхностного слоя равнодействующая молекулярных сил не равна нулю и направлена в сторону жидкости. Поэтому поверхностный слой обладает *избыточной (поверхностной) энергией*, мерой которой является *поверхностное натяжение*.

Для индивидуальных жидкостей *поверхностное натяжение* – это поверхностная энергия Гиббса, приходящаяся на единицу площади поверхности (при постоянных давлении и температуре):

$$\sigma_{\text{ж-г}} = \frac{G}{S}, \quad (2.1)$$

где  $\sigma_{\text{ж-г}}$  – поверхностное натяжение, Дж/м<sup>2</sup>;  $G$  – поверхностная энергия Гиббса, Дж;  $S$  – площадь поверхности раздела фаз, м<sup>2</sup>.

Поверхностное натяжение индивидуальных жидкостей зависит от природы жидкости и от температуры. При введении в жидкость веществ, способных растворяться в ней, поверхностное натяжение на границе «раствор – газ» изменяется в зависимости от природы вещества и от его количества (концентрации раствора). Вещества, которые понижают поверхностное натяжение жидкости на границе с воздухом, называются *поверхностно-активными веществами (ПАВ)*.

Схематически молекулу ПАВ изображают в виде  $\text{O}—$ , где  $\text{O}$  – полярная часть;  $—$  – неполярная часть молекулы.

В качестве полярных частей молекул могут выступать группы, обладающие достаточно большим дипольным моментом, например,  $\text{COOH}$ ,  $\text{OH}$ ,  $\text{NH}_2$ ,  $\text{NO}_2$  и т. д. Неполярная часть молекул представляет собой различные углеводородные радикалы.

При растворении таких веществ в воде большинство «ди-фильных» молекул сосредотачивается на поверхности раздела фаз, при этом неполярные части молекул находятся в воздушной фазе, а полярные остаются в водной (рис. 2.1).

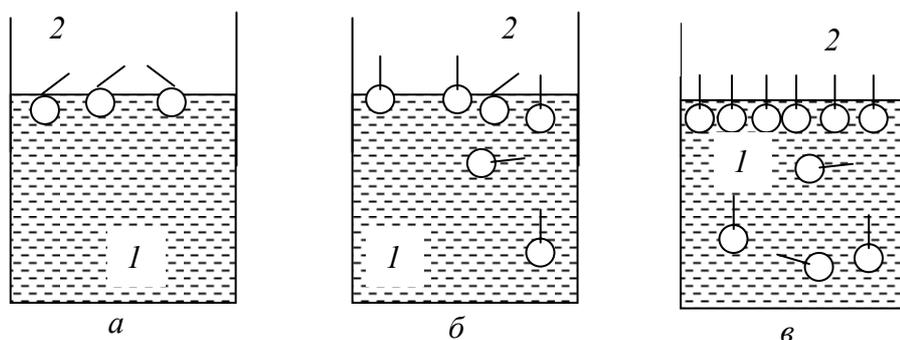


Рис. 2.1. Схема образования поверхностного слоя молекулами ПАВ на границе между полярной жидкостью (1) и газом (2) для различных концентраций:  $C_a < C_b < C_v$

При малых концентрациях ПАВ практически все его молекулы находятся в поверхностном слое и располагаются в нем «плашмя» (рис. 2.1, а). По мере увеличения концентрации раствора степень заполнения поверхностного слоя молекулами ПАВ возрастает (рис. 2.1, б) и достигает максимального значения при образовании мономолекулярного слоя (рис. 2.1, в), в котором молекулы располагаются вертикально.

Количественной мерой способности ПАВ понижать поверхностное натяжение растворителя служит *поверхностная активность* ( $g$ ):

$$g = - \left( \frac{d\sigma_{\text{ж-г}}}{dC} \right)_{C \rightarrow 0}, \quad (2.2)$$

Поверхностную активность определяют из графической зависимости  $\sigma_{\text{ж-г}} = f(C)$ , которая называется *изотермой поверхностного натяжения*. На рис. 2.2 приведена изотерма поверхностного натяжения для водного раствора ПАВ. Так как поверхностное натяжение ПАВ меньше, чем поверхностное натяжение воды ( $\sigma_0$ ), то поверхностное натяжение раствора с ростом его концентрации уменьшается ( $\frac{d\sigma}{dC} < 0$ ).

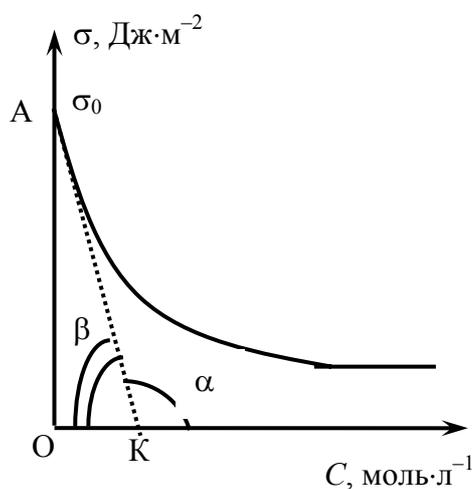


Рис. 2.2. Графический метод определения поверхностной активности ПАВ

Чтобы исключить влияние концентрации и оценить только влияние природы ПАВ на его способность снижать поверхностное натяжение растворителя ( $\sigma_0$ ), производную  $\frac{d\sigma}{dC}$  определяют при  $C \rightarrow 0$  (рис. 2.2).

К изотерме поверхностного натяжения проводят касательную (АК) в точке А и определяют величину  $\left( \frac{d\sigma}{dC} \right)_{C \rightarrow 0} = \text{tg} \alpha$  ( $\alpha$  – угол наклона касательной к

положительному направлению оси абсцисс).

$$g = -\left(\frac{d\sigma}{dC}\right)_{C \rightarrow 0} = -\operatorname{tg}\alpha = \operatorname{tg}\beta = \frac{m}{n}, \quad (2.3)$$

где  $m$  – численное значение величины отрезка АО ( $\text{Дж}\cdot\text{м}^{-2}$ );  $n$  – численное значение величины отрезка ОК ( $\text{моль}\cdot\text{л}^{-1}$ ).

Для растворов ПАВ в полярных растворителях при комнатной температуре выполняется *правило Траубе*: поверхностная активность ПАВ одного гомологического ряда при увеличении длины углеводородного радикала на группу  $\text{CH}_2$  возрастает в 3,2 раза.

Для двух соседних членов гомологического ряда ПАВ имеем

$$\frac{g_{n+1}}{g_n} = 3,2, \quad (2.4)$$

где  $n$  – число групп  $\text{CH}_2$  в молекуле ПАВ.

Если длины углеводородных радикалов двух членов гомологического ряда различается на  $m$  групп  $\text{CH}_2$ , то вместо выражения (2.4) получаем соотношение

$$\frac{g_{n+m}}{g_n} = 3,2^m, \quad (2.5)$$

где  $g_n$  – поверхностная активность ПАВ, содержащего  $n$  групп  $\text{CH}_2$ ;  $g_{n+m}$  – поверхностная активность ПАВ, содержащего  $(n + m)$  групп  $\text{CH}_2$ .

На рис. 2.3 показаны изотермы поверхностного натяжения водных растворов ПАВ одного гомологического ряда.

Из рис. 2.3 видно, что чем длиннее углеводородный радикал в молекуле поверхностно-активного вещества, тем в большей степени уменьшается поверхностное натяжение раствора с увеличением его концентрации, тем больше поверхностная активность вещества:  $g(\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}) < g(\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}) < g(\text{C}_5\text{H}_{11}\text{OH})$ .

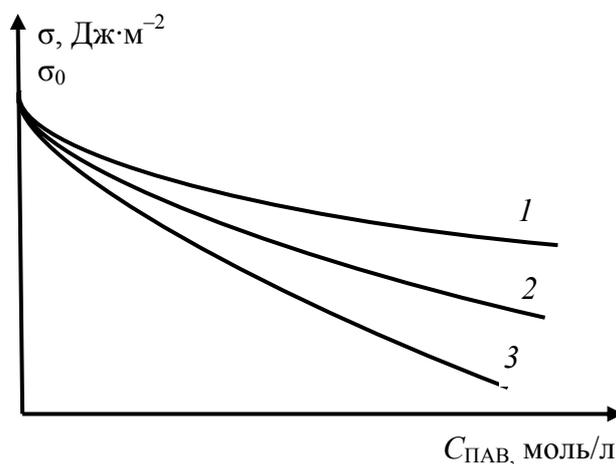


Рис. 2.3. Изотермы поверхностного натяжения:

1 –  $\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$ ; 2 –  $\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$ ; 3 –  $\text{C}_5\text{H}_{11}\text{OH}$

Рассмотрим межфазное натяжение на границе раздела «жидкость 1 – жидкость 2». Если жидкости близки по полярности, то они смешиваются друг с другом при любых соотношениях, образуя при этом гомогенную систему (истинный раствор). Если жидкости ограниченно растворимы друг в друге, то в результате их смешивания через некоторое время происходит

взаимное насыщение жидкостей с образованием двух взаимно насыщенных растворов: раствора жидкости 1 в жидкости 2 и раствора жидкости 2 в жидкости 1. В результате образуется гетерогенная система с границей раздела фаз, которая характеризуется межфазным натяжением  $\sigma_{ж1 - ж2,нас}$ . Согласно правилу Антонова, межфазное натяжение на границе двух несмешивающихся жидкостей равно разности поверхностных натяжений их взаимно насыщенных растворов на границе с воздухом:

$$\sigma_{ж1 - ж2,нас} = \sigma_{ж2 - г,нас} - \sigma_{ж1 - г,нас} \quad (2.6)$$

где  $\sigma_{ж2 - г,нас}$  – поверхностное натяжение насыщенного раствора жидкости 1 в жидкости 2 (более полярная жидкость) на границе с воздухом;  $\sigma_{ж1 - г,нас}$  – поверхностное натяжение насыщенного раствора жидкости 2 в жидкости 1 (менее полярная жидкость) на границе с воздухом.

Для определения поверхностного натяжения на границе раздела «жидкость – воздух» используют различные методы: метод капиллярного поднятия жидкости, метод наибольшего давления в пузырьке (метод Ребиндера), метод отрыва кольца и сталагмометрический метод. Перечисленные методы являются статическими или полустатическими и дают возможность измерять поверхностное натяжение либо при неподвижной межфазной поверхности, либо при достижении системой неустойчивого равновесного состояния.

## **2.2. Молекулярная адсорбция поверхностно-активных веществ на границе раздела «раствор – газ»**

*Адсорбция* – это поверхностное явление, которое заключается в самопроизвольном перераспределении компонентов системы между поверхностным слоем и объемной фазой. Принято более плотную фазу (фазу, определяющую форму поверхности) называть *адсорбентом*. Адсорбент может быть твердым и жидким. Вещество, которое перераспределяется и поэтому обычно находится в газообразной или жидкой фазе, называется *адсорбатом*. Таким образом, адсорбат адсорбируется на поверхности адсорбента.

Рассмотрим границу раздела «раствор ПАВ – газ» (рис. 2.1). Молекулы поверхностно-активных веществ стремятся выйти на поверхность раствора, поэтому *молекулярная адсорбция* ПАВ на границе раздела «раствор – газ» – это самопроизвольный процесс концентрирования его молекул на поверхности раствора. Молекулы ПАВ являются *адсорбатом*, а поверхность раствора – *адсорбентом*.

Адсорбцию характеризуют следующими величинами:

$a$  – *адсорбция по Лэнгмюру (абсолютная адсорбция)*: количество моль адсорбата, которое концентрируется на  $1 \text{ м}^2$  поверхности адсорбента, моль/ $\text{м}^2$ ;

$\Gamma$  – адсорбция по Гиббсу (избыточная адсорбция): избыток моль адсорбата в поверхностном слое по сравнению с количеством моль его в таком же объеме фазы раствора, приходящийся на  $1 \text{ м}^2$  поверхности адсорбента, моль/ $\text{м}^2$ .

Математически зависимость величины абсолютной адсорбции от концентрации раствора описывается уравнением Лэнгмюра:

$$a = a_{\infty} \cdot \frac{K \cdot C}{1 + K \cdot C}, \quad (2.7)$$

где  $a_{\infty}$  – предельная адсорбция, т. е. максимально возможное количество моль адсорбата, которое способно адсорбироваться на  $1 \text{ м}^2$  поверхности с образованием мономолекулярного слоя, моль· $\text{м}^{-2}$ ;  $K$  – константа адсорбционного равновесия, л·моль $^{-1}$ ;  $C$  – равновесная концентрация адсорбата, моль·л $^{-1}$ ;

Избыточная адсорбция описывается уравнением Гиббса:

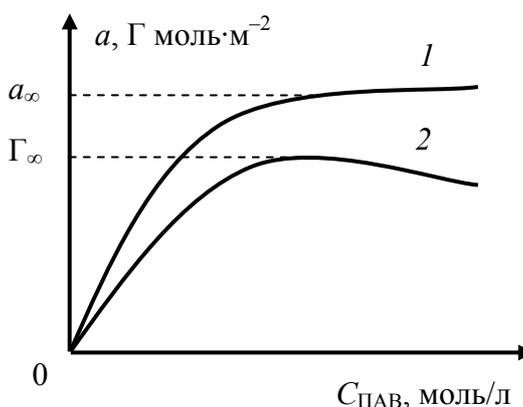


Рис. 2.4. Изотермы адсорбции по Лэнгмюру (1) и Гиббсу (2)

$$\Gamma = -\frac{C}{R \cdot T} \cdot \left( \frac{d\sigma}{dC} \right)_T, \quad (2.8)$$

где  $C$  – концентрация раствора адсорбата, моль·л $^{-1}$ ;  $R$  – универсальная газовая постоянная,  $R = 8,314 \text{ Дж} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$ ;  $T$  – абсолютная температура, К;  $\sigma$  – поверхностное натяжение на границе «раствор – газ», Дж· $\text{м}^{-2}$ .

Графические зависимости  $a = f(C)$  и  $\Gamma = f(C)$ , полученные при постоянной температуре, называются *изотермами адсорбции* по Лэнгмюру и по Гиббсу соответственно. Изотермы адсорбции водных растворов ПАВ представлены на рис. 2.4.

В области малых концентраций раствора ПАВ адсорбция по Гиббсу приблизительно численно равна адсорбции по Лэнгмюру, так как практически все молекулы адсорбата находятся в поверхностном слое. При увеличении концентрации раствора количество молекул ПАВ в поверхностном слое возрастает, но часть их остается в объеме раствора, поэтому адсорбция по Лэнгмюру численно больше, чем адсорбция по Гиббсу. При некоторой концентрации раствора поверхность полностью заполняется молекулами ПАВ и достигаются максимальные значения адсорбции по Гиббсу ( $\Gamma_{\infty}$ ) и по Лэнгмюру ( $a_{\infty}$ ). Дальнейшее увеличение

концентрации приводит только к повышению содержания молекул ПАВ в растворе, поэтому адсорбция по Лэнгмюру постоянна, а адсорбция по Гиббсу уменьшается.

### 2.3. Молекулярная адсорбция поверхностно-активных веществ на границе раздела «раствор – твердое тело»

*Молекулярная адсорбция* на границе раздела «раствор – твердое тело» – это процесс самопроизвольного концентрирования молекул растворенного в жидкости вещества на поверхности твердого тела. Твердое вещество, на поверхности которого происходит адсорбция, является *адсорбентом*. Вещество, которое концентрируется или адсорбируется, является *адсорбатом*.

Адсорбция носит динамический характер: наряду с адсорбцией протекает и обратный процесс – десорбция, т. е. переход молекул адсорбата с поверхности адсорбента в фазу раствора. В состоянии адсорбционного равновесия скорость адсорбции равна скорости десорбции. После установления адсорбционного равновесия концентрация адсорбата в растворе остается постоянной (равновесная концентрация).

Адсорбенты по своей природе делятся на полярные (глина, силикагель) и неполярные (уголь, сажа). Молекулы ПАВ могут адсорбироваться как на полярных, так и на неполярных адсорбентах, поскольку имеют дифильное строение, т. е. полярную и неполярную часть.

Следовательно, для адсорбции молекул ПАВ из полярной среды (например, из водного раствора) необходимо использовать неполярный адсорбент, для адсорбции молекул ПАВ из неполярной среды (например, из бензольного раствора) – полярный адсорбент (рис. 2.5).

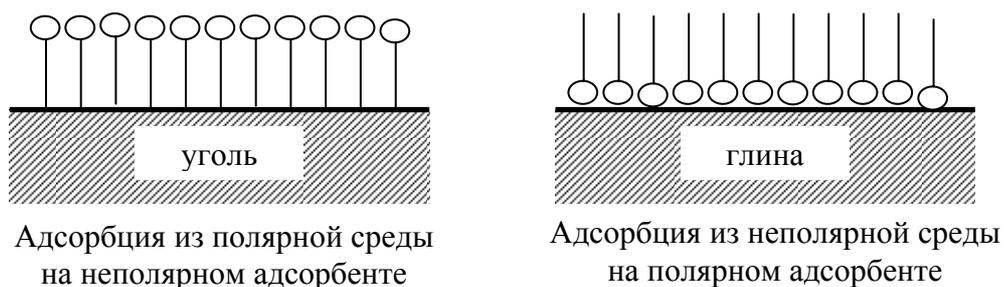


Рис. 2.5. Адсорбция молекул ПАВ

*Адсорбция по Лэнгмюру* на границе раздела «раствор – твердое тело» – абсолютное количество моль ( $n$ ) адсорбата, приходящееся на единицу массы ( $m$ ) адсорбента, моль·г<sup>-1</sup>:

$$a = \frac{n}{m}. \quad (2.9)$$

Процесс адсорбции сопровождается выделением тепла (экзотермический процесс), поэтому при повышении температуры адсорбция по Лэнгмюру уменьшается.

Адсорбция описывается уравнением Лэнгмюра:

$$a = a_{\infty} \frac{K \cdot C}{1 + K \cdot C}, \quad (2.10)$$

где  $a_{\infty}$  – предельная адсорбция, т. е. максимально возможное количество моль адсорбата, которое способно адсорбироваться на 1 г адсорбента с образованием мономолекулярного слоя, моль·г<sup>-1</sup>;  $K$  – константа адсорбционного равновесия, л·моль<sup>-1</sup>;  $C$  – равновесная концентрация адсорбата, моль·л<sup>-1</sup>.

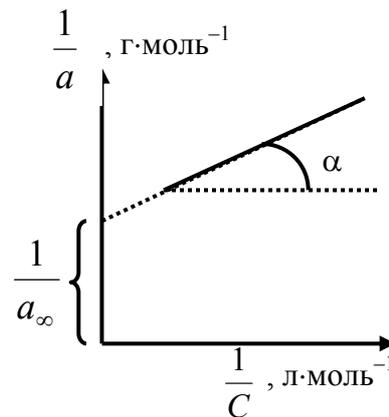
Для определения величины предельной адсорбции уравнение Лэнгмюра приводят к линейному виду:

$$\frac{1}{a} = \frac{1}{a_{\infty}} + \frac{1}{a_{\infty} \cdot K} \cdot \frac{1}{C}. \quad (2.11)$$

На рис. 2.6 представлена графическая зависимость  $\frac{1}{a} = f\left(\frac{1}{C}\right)$ .

Из графика определяют величину  $\frac{1}{a_{\infty}}$  как отрезок, отсекаемый прямой на оси ординат и рассчитывают величину предельной адсорбции. построения этого графика используют

экспериментальные данные: численные значения концентраций растворов адсорбата до и после адсорбции. Адсорбцию по Лэнгмюру рассчитывают по формуле



Для

Рис. 2.6. Зависимость  $\frac{1}{a} = f\left(\frac{1}{C}\right)$

$$a_i = \frac{(C_i - C_{i,\text{равн}}) \cdot V}{m}, \quad (2.12)$$

где  $C_i$  – концентрация исходного раствора адсорбата (до адсорбции), моль·л<sup>-1</sup>;  $C_{i,\text{равн}}$  – равновесная концентрация раствора адсорбата, моль·л<sup>-1</sup>;  $V$  – объем раствора адсорбата, л;  $m$  – масса навески адсорбента, г.

Численное значение величины  $a_{\infty}$  используют для расчета *удельной поверхности* твердого адсорбента  $S_{\text{уд}}$ . Она равна отношению общей поверхности адсорбента ( $S_{\text{общ}}$ ) к его массе ( $m$ ), т. е. под удельной

поверхностью понимают площадь поверхности, которую имеет единица массы (1 г) твердого адсорбента,  $\text{м}^2 \cdot \text{г}^{-1}$ :

$$S_{\text{уд}} = \frac{S_{\text{общ}}}{m} . \quad (2.13)$$

Удельную поверхность рассчитывают по формуле

$$S_{\text{уд}} = a_{\infty} \cdot N_A \cdot S_0, \quad (2.14)$$

где  $N_A$  – число Авогадро,  $6,02 \cdot 10^{23}$  молек·моль<sup>-1</sup>;  $S_0$  – площадь, которую занимает одна молекула адсорбата на поверхности твердого адсорбента,  $\text{м}^2 \cdot \text{молек}^{-1}$ .

## 2.4. Адгезия и смачивание

*Адгезия* – это поверхностное явление, заключающееся во взаимодействии между приведенными в контакт поверхностями конденсированных фаз разной природы. В переводе с английского адгезия означает «прилипание» (*adhesion*).

Различают адгезию между двумя жидкостями, между жидкостью и твердым телом и между двумя твердыми телами. Наиболее распространенным видом адгезии является адгезия на границе «жидкость – твердое тело». Количественно адгезия характеризуется *работой адгезии*.

*Работа адгезии* – это работа, затрачиваемая на отделение одной конденсированной фазы от другой.

На рис. 2.7 проиллюстрировано совершение работы адгезии на границе «твердое тело – жидкость». Из рисунка следует, что при совершении работы адгезии исчезает граница раздела «твердое тело – жидкость» с  $\sigma_{\text{т-ж}}$ , и образуются поверхности «жидкость – газ» и «твердое тело – газ» с  $\sigma_{\text{ж-г}}$  и  $\sigma_{\text{т-г}}$  соответственно. В данном случае *поверхностное натяжение* рассматривается как работа, которая затрачивается на создание единицы площади поверхности раздела фаз.

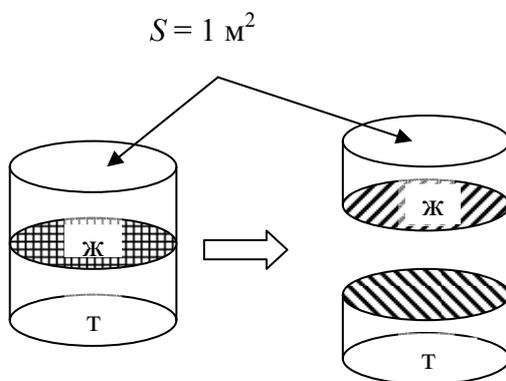


Рис. 2.7. Иллюстрация работы адгезии

следует, что

$$A_{\text{адг}} = \sigma_{\text{т-г}} + \sigma_{\text{ж-г}} - \sigma_{\text{т-ж}}, \text{ Дж}\cdot\text{м}^{-2}. \quad (2.15)$$

Уравнение (2.15) называется *уравнением Дюпре*. Экспериментальное определение величин  $\sigma_{\text{т-г}}$  и  $\sigma_{\text{т-ж}}$  затруднено, поэтому работу адгезии по данному уравнению не рассчитывают. Его преобразуют с использованием уравнения Юнга, описывающего явление смачивания.

*Смачивание* – это поверхностное явление, заключающееся во взаимодействии жидкости с твердым телом при наличии одновременного контакта трех несмешивающихся фаз (твердое тело, жидкость, газ).

При нанесении капли жидкости (жидкость 1 или жидкость 2) на твердую поверхность она может принимать различную форму в зависимости от природы жидкости (рис. 2. 8).

Для вывода уравнения Юнга применим силовое определение поверхностного натяжения. *Поверхностное натяжение* – это сила, действующая на единицу длины границы раздела фаз. В точках соприкосновения трех фаз (т.  $N$ ) действуют три силы ( $\sigma_{\text{т-г}}$ ,  $\sigma_{\text{т-ж}}$ ,  $\sigma_{\text{ж-г}}$ ), показанные на рисунке векторами. В состоянии равновесия между ними соблюдаются следующие соотношения:

$$\sigma_{\text{т-г}} = \sigma_{\text{т-ж}} + \sigma_{\text{ж-г}} \cdot \cos \Theta ; \quad (2.16)$$

$$\sigma_{\text{т-г}} + \sigma_{\text{ж-г}} \cdot \cos(180 - \Theta) = \sigma_{\text{т-ж}} . \quad (2.17)$$

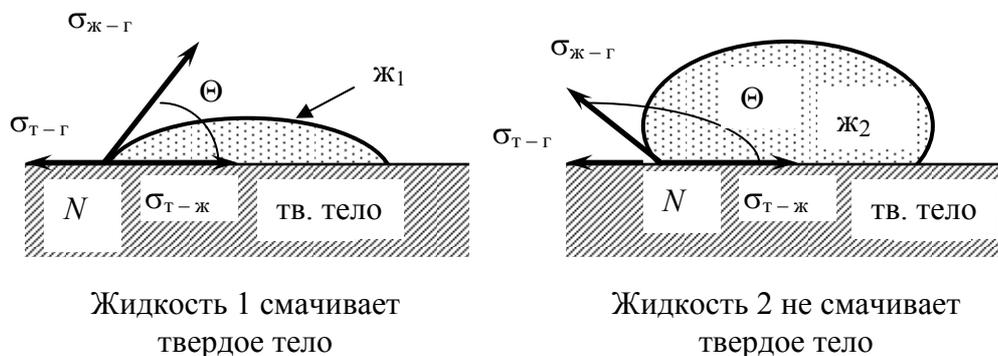


Рис. 2.8. Поведение жидкостей на поверхности твердого тела

Из (2.16, 2.17) можно выразить  $\cos \Theta$  через соответствующие поверхностные натяжения:

$$\cos \Theta = \frac{\sigma_{\text{т-г}} - \sigma_{\text{т-ж}}}{\sigma_{\text{ж-г}}}. \quad (2.18)$$

Соотношения (2.16–2.18) являются различными видами *уравнения Юнга*, где  $\Theta$  – *угол смачивания*, т. е. угол между касательной, проведенной к поверхности жидкости в точке соприкосновения трех фаз (т.  $N$ ), и границей

раздела «твердое тело – жидкость». Если  $\Theta < 90^\circ$ , то жидкость смачивает твердую поверхность, если  $\Theta > 90^\circ$ , то она не смачивает твердую поверхность. Если  $\Theta \approx 0^\circ$ , то происходит полное смачивание жидкостью поверхности твердого тела. Следовательно, количественной характеристикой явления смачивания является краевой угол. Для вычисления  $A_{\text{адг}}$  в уравнение Дюпре (2.15) подставим значение  $\sigma_{\text{т-ж}}$  из уравнения Юнга (2.16):

$$A_{\text{адг}} = \sigma_{\text{ж-г}} \cdot (1 + \cos \Theta). \quad (2.19)$$

Уравнение (2.19) называют *уравнением Дюпре – Юнга*. Из него следует, что, чем меньше угол смачивания  $\Theta$ , тем больше работа адгезии одной и той же жидкости по отношению к различным твердым телам.

### 3. ДИСПЕРСНЫЕ СИСТЕМЫ

*Дисперсными* называют системы, состоящие, как минимум, из двух фаз, одна из которых является сплошной (*дисперсионная среда*), а другая фаза раздроблена и равномерно распределена в объеме дисперсной системы (*дисперсная фаза*). Системы, в которых частицы дисперсной фазы интенсивно взаимодействуют с молекулами жидкой дисперсионной среды, называются *лиофильными*, а системы, в которых это взаимодействие практически отсутствует, – *лиофобными*.

#### 3.1. Гидрозоли

### 3.1.1. Получение гидрозолей методом химической конденсации. Строение частиц дисперсной фазы гидрозоля (СЕГ)

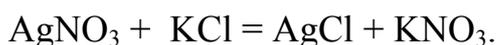
*Золь* – это свободнодисперсная система с размером частиц дисперсной фазы от  $10^{-7}$  до  $10^{-9}$  м (1–100 нм). Если дисперсионная среда – вода, то золь называют *гидрозодем*. Гидрозоль с твердыми частицами дисперсной фазы (ДФ) можно получить методами физической и химической конденсации. В случае химической конденсации дисперсная фаза возникает в пересыщенном растворе, который образуется в результате протекания химической реакции (обмена, гидролиза).

При получении гидрозолей методом химической конденсации по реакции обмена необходимо соблюдать следующие условия:

– в результате реакции должно образоваться малорастворимое или нерастворимое в воде соединение;

– одно из исходных веществ должно быть взято в избытке и выполнять роль стабилизатора.

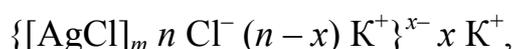
Получим гидрозоль по реакции обмена между водными растворами электролитов  $\text{AgNO}_3$  и  $\text{KCl}$ . Электролит  $\text{KCl}$  возьмем в избытке:



В результате реакции образуется нерастворимое в воде соединение  $\text{AgCl}$  в виде кристалликов, которые принято называть *компактными агрегатами* и записывать  $[\text{AgCl}]_m$  ( $m$  – количество молекул  $\text{AgCl}$ ). После протекания реакции в растворе присутствуют ионы  $\text{K}^+$ ,  $\text{NO}_3^-$  и  $\text{Cl}^-$ . На поверхности компактного агрегата будут адсорбироваться из раствора ионы  $\text{Cl}^-$ , так как они способны достраивать его кристаллическую решетку. Ионы  $\text{Cl}^-$  называются *потенциалопределяющими ионами* (ПОИ). Поверхность приобретает отрицательный заряд, и на границе раздела «дисперсная фаза – дисперсионная среда» возникает скачок потенциала  $\varphi_0$ , который получил название *потенциал поверхности*. Знак потенциала поверхности зависит от знака заряда ПОИ. В нашем случае  $\varphi_0 < 0$ .

К отрицательно заряженной поверхности из раствора под действием электростатических сил притягивается эквивалентное количество ионов  $\text{K}^+$ , которые компенсируют ее заряд и называются *противоионами* (ПИ). Слой противоионов состоит из двух частей. Часть противоионов  $\text{K}^+$  находится вблизи поверхности частиц ДФ и образует *адсорбционный слой* противоионов, другая часть ПИ находится на некотором расстоянии от нее и образует *диффузный слой*.

Исходя из вышесказанного структурная единица дисперсной фазы гидрозоля имеет следующее строение:



где  $(n - x)$  – количество противоионов в адсорбционном слое;  $x$  – количество противоионов в диффузном слое.

Частица дисперсной фазы гидрозоля (коллоидная частица) имеет следующее строение:



где  $(x-)$  – заряд коллоидной частицы.

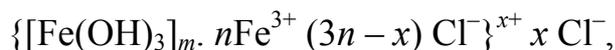
В результате адсорбции потенциалопределяющих и противоионов на поверхности частиц дисперсной фазы образуется двойной электрический слой (ДЭС). Полученный гидрозоль называется гидрозодем  $\text{AgCl}$ , стабилизированным электролитом  $\text{KCl}$ . Частицы гидрозоля имеют отрицательный заряд.

Рассмотрим строение структурной единицы дисперсной фазы гидрозоля  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , полученного в результате реакции гидролиза  $\text{FeCl}_3$ :

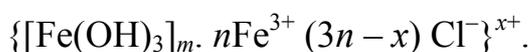


Гидроксид железа (III) не растворим в воде, поэтому компактным агрегатом является  $[\text{Fe}(\text{OH})_3]_m$ . После протекания реакции в растворе присутствуют ионы  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{H}^+$ .

Потенциалопределяющими ионами являются ионы  $\text{Fe}^{3+}$ , так как они способны достраивать кристаллическую решетку компактного агрегата. Противоионы – ионы  $\text{Cl}^-$ . Структурная единица дисперсной фазы гидрозоля имеет следующее строение:



а коллоидная частица имеет положительный заряд:



Между одноименно заряженными коллоидными частицами гидрозолей действуют электростатические силы отталкивания, которые обеспечивают агрегативную устойчивость обоих гидрозолей.

### 3.1.2. Закономерности электролитной коагуляции гидрозолей

Существует два вида устойчивости дисперсных систем: агрегативная и седиментационная.

*Агрегативная устойчивость* – это способность дисперсной системы сохранять постоянную во времени дисперсность (размер частиц ДФ не изменяется).

*Седиментационная устойчивость* – это способность дисперсной системы сохранять во времени равномерное распределение частиц ДФ по всему объему дисперсионной среды.

Действие различных факторов (перемешивание, встряхивание, нагревание, охлаждение, добавление химических реагентов) приводит к потере устойчивости дисперсной системой.

Потеря агрегативной устойчивости гидрозоля происходит в результате слипания твердых частиц дисперсной фазы с образованием агрегатов. Этот процесс называется *коагуляцией*.

Под действием силы тяжести происходит оседание образовавшихся агрегатов и гидрозоль теряет седиментационную устойчивость. Этот процесс называется *прямой седиментацией*.

Наибольший практический интерес представляет коагуляция под действием электролитов, которые называются *электролитами-коагуляторами*.

Экспериментально были установлены следующие закономерности электролитной коагуляции.

1. Коагуляцию вызывает ион электролита, заряд которого противоположен по знаку заряду частиц ДФ гидрозоля. Этот ион называется *ион-коагулятор*.

2. *Коагулирующее действие* иона-коагулятора зависит от величины его заряда: чем больше заряд иона, тем больше его коагулирующее действие.

3. Количественной характеристикой электролитной коагуляции является порог коагуляции. *Порог коагуляции* ( $\gamma$ ) – это минимальное количество моль электролита, которое вызывает видимый эффект коагуляции 1л золя за определенный промежуток времени, моль/(л золя).

4. Чем больше заряд иона коагулятора, тем меньше величина порога коагуляции.

Порог коагуляции рассчитывают по формуле

$$\gamma = \frac{C_{\text{эл}} \cdot V_{\text{эл}}}{V_{\text{золя}}}, \quad (3.1)$$

где  $C_{\text{эл}}$  – концентрация электролита коагулятора, моль·л<sup>-1</sup>;  $V_{\text{эл}}$  – объем добавленного электролита, л;  $V_{\text{золя}}$  – объем золя, взятого для коагуляции, л.

Так как коагуляция гидрозолей сопровождается видимым эффектом (помутнение, выпадение осадка), то за этим процессом можно наблюдать как визуально, так и при помощи различных приборов, например фотоэлектроколориметра. При коагуляции происходит увеличение размера частиц ДФ, поэтому для определения порога коагуляции используют турбидиметрический метод (см. подраздел 4.5).

## 3.2. Суспензии

### 3.2.1. Классификация суспензий

*Суспензии* – это лиофобные дисперсные системы, в которых дисперсной фазой являются частицы твердого вещества, дисперсионной средой – жидкость (Т/Ж).

Суспензии классифицируются по нескольким признакам:

– *природа дисперсионной среды*:

органосуспензии (дисперсионная среда – органическая жидкость) и водные суспензии (дисперсионная среда – вода);

– *размеры частиц дисперсной фазы* (средний диаметр,  $d$ ):  
грубые ( $d > 10^{-4}$  м), тонкие суспензии ( $5 \cdot 10^{-7} < d < 10^{-4}$  м) и мути ( $10^{-7} < d < 5 \cdot 10^{-7}$  м);

– *концентрация частиц дисперсной фазы*:  
разбавленные суспензии (взвеси) и концентрированные суспензии (пасты).

Большинство суспензий содержат частицы, размеры которых больше  $10^{-6}$  м. Если плотность частиц больше плотности дисперсионной среды, то частицы оседают под действием силы тяжести. Если плотность частиц меньше плотности дисперсионной среды, то они всплывают. Такие суспензии являются *седиментационно неустойчивыми*. Процесс оседания частиц называется *прямой седиментацией*, а процесс всплывания – *обратной седиментацией*.

### 3.2.2. Методы получения и стабилизации суспензий

Наиболее простым и широко распространенным методом получения разбавленных суспензий является взбалтывание порошка с жидкостью. При этом не происходит изменение дисперсности системы (размера частиц), а осуществляется лишь замена газообразной дисперсионной среды на жидкую. Таким образом получают, например, водные суспензии мела, извести и цемента, используемые в строительстве.

Суспензию, как и любую другую дисперсную систему, можно получить *диспергационным* и *конденсационным* методами.

Диспергационный метод предполагает измельчение твердой фазы до частиц требуемого размера в жидкой среде. Для этого используют специальные устройства: роллы, дезинтеграторы, мельницы, дробилки и др. Данным способом, например, получают водную волокнистую суспензию целлюлозы, которую используют для изготовления бумаги и картона.

Из конденсационных методов наибольшее применение нашел физико-химический метод осаждения вещества дисперсной фазы из растворов солей. Его используют, например, в химическом производстве удобрений, катализаторов и красителей.

Для получения агрегативно устойчивой суспензии необходимо, чтобы частицы дисперсной фазы хорошо смачивались дисперсионной средой. Поэтому агрегативно устойчивыми являются суспензии полярных порошков в полярной среде или неполярных порошков в неполярной среде. При плохом смачивании для получения агрегативно устойчивой суспензии необходимо добавить в дисперсионную среду поверхностно-активные вещества. В результате адсорбции молекул ПАВ на частицах дисперсной фазы смачивание их поверхности улучшается.

Для повышения устойчивости суспензий используют растворы неорганических электролитов, коллоидных ПАВ и высокомолекулярных соединений (ВМС), которые выполняют функцию стабилизаторов. При

адсорбции ионов электролита на поверхности частиц суспензии образуется двойной электрический слой (ДЭС), между частицами возникают силы отталкивания и реализуется *электростатический фактор* устойчивости. Молекулы ПАВ и ВМС, адсорбируясь на частицах ДФ, образуют защитные оболочки, обладающие механической прочностью и упругостью. Эти оболочки препятствуют слипанию частиц. Реализуются *адсорбционно-сольватный* и *структурно-механический факторы* устойчивости.

### 3.2.3. Методы разрушения разбавленных суспензий

Под разрушением суспензии понимается процесс отделения дисперсной фазы от дисперсионной среды. Задача разрушения суспензий является весьма насущной, так как все сточные воды промышленных и сельскохозяйственных предприятий, а также бытовые стоки представляют собой разбавленные суспензии, которые необходимо утилизировать.

Существует множество методов разрушения суспензий: механические, термические, электрические и химические. Химические основаны на использовании химических реагентов (низкомолекулярные неорганические электролиты, полиэлектролиты и неионные высокомолекулярные соединения). Под действием неорганических электролитов протекает процесс коагуляции, аналогичный наблюдаемому в золях.

Процесс разрушения суспензий под действием полиэлектролитов и неионных ВМС называется *флокуляцией*. Флокуляция может протекать по двум механизмам: *нейтрализационному* и *мостичному*. Согласно нейтрализационному механизму, на поверхности частиц суспензии происходит адсорбция макроионов полимера, имеющих заряд, противоположный по знаку заряду частиц ДФ. Заряд частиц понижается, и они слипаются с образованием агрегатов. Этот процесс протекает аналогично процессу коагуляции золь под действием неорганических электролитов.

По мостичному механизму сегменты одной макромолекулы (или макроиона) полимера адсорбируются одновременно на поверхности нескольких частиц, соединяют их между собой, образуя «мостики» между ними. Процесс заканчивается образованием рыхлых, объемных осадков. По мостичному механизму флокуляция протекает под действием как неионных ВМС, так и под действием полиэлектролитов (анионные и катионные соединения).

В результате флокуляции дисперсная система теряет вначале агрегативную, а затем седиментационную устойчивость. При этом образуются рыхлые хлопьевидные структуры – флокулы, которые либо оседают, либо всплывают в зависимости от соотношения плотностей вещества ДФ и дисперсионной среды.

Флокуляцию используют для концентрирования суспензий и улучшения фильтрационных характеристик осадков.

### 3.3. Эмульсии

### 3.3.1. Классификация и методы получения эмульсий

*Эмульсия* – это дисперсная система, состоящая из двух взаимно нерастворимых жидкостей, одна из которых распределена в другой в виде капель. Жидкость, присутствующая в системе в виде капель, является дисперсной фазой, а жидкость, в которой распределены эти капли, – дисперсионной средой.

Условно эмульсию обозначают в виде дроби  $J_1/J_2$ , где в числителе указано агрегатное состояние дисперсной фазы ( $J_1$ ), в знаменателе – агрегатное состояние дисперсионной среды ( $J_2$ ).

Эмульсии обычно классифицируют по двум признакам.

1. *Концентрация дисперсной фазы*,  $C_{дф}$  (содержание дисперсной фазы в дисперсной системе, выраженное в объемных процентах):

- *разбавленные* ( $C_{дф} < 0,1 \%$ );
- *концентрированные* ( $0,1 < C_{дф} < 74 \%$ );
- *высококонцентрированные*, или *желатинированные* ( $C_{дф} > 74 \%$ ).

Разбавленные эмульсии являются агрегативно устойчивыми, монодисперсными (капли одного размера), частицы капель имеют сферическую форму. Концентрированные эмульсии сохраняют сферическую форму капель, но являются полидисперсными (капли разного размера). В высококонцентрированных эмульсиях капли деформированы, имеют форму многогранников различного размера, отделенных друг от друга тонкими прослойками дисперсионной среды. Все высококонцентрированные эмульсии полидисперсны.

2. *Полярность дисперсной фазы и дисперсионной среды*:

- *прямые* эмульсии;
- *обратные* эмульсии.

Принято любую полярную жидкость условно обозначать буквой «В» – «вода», а неполярную буквой «М» – «масло». *Прямая эмульсия* – это такая дисперсная система, в которой капельки неполярной жидкости (масла) распределены в полярной жидкости (воде). Эту эмульсию обозначают в виде дроби М/В. *Обратная эмульсия* – это такая дисперсная система, в которой капли воды распределены в неполярной жидкости (В/М).

Для получения эмульсий используют методы диспергирования и конденсации. Диспергационные методы делят на три группы:

1) *механическое диспергирование*: дробление жидкости, являющейся ДФ, в дисперсионной среде осуществляется с использованием смесителей разнообразных конструкций, коллоидных мельниц и гомогенизаторов;

2) *эмульгирование* ультразвуком: воздействие на систему ультразвука большой мощности; наиболее эффективной является область частот 20–50 кГц;

3) *электрический метод*: эмульсия образуется под действием электрического поля, создаваемого источником высокого напряжения.

Наибольшее применение из перечисленных методов нашел метод механического диспергирования.

Из конденсационных методов чаще используют способы физической конденсации: конденсация из паров, замена растворителя. Суть способа замены растворителя заключается в следующем. Вещество, которое в будущей эмульсии будет находиться в виде капель, растворяют предварительно в небольшом количестве растворителя (например, скипидар растворяют в этиловом спирте). Образовавшийся истинный раствор добавляют в дисперсионную среду (например, водный раствор поверхностно-активного вещества). Так как скипидар нерастворим в воде, то происходит образование капель скипидара. Молекулы поверхностно-активного вещества адсорбируются на поверхности капель, обеспечивая агрегативную устойчивость эмульсии.

В качестве стабилизаторов эмульсий используют неорганические электролиты, коллоидные ПАВ, ВМС, порошки. Неорганические электролиты наименее эффективные стабилизаторы. При их использовании реализуется электростатический фактор устойчивости. Для стабилизации прямых эмульсий М/В используют ПАВ и ВМС хорошо растворимые в дисперсионной среде – «воде», а для стабилизации обратных эмульсий В/М – хорошо растворимые в «масле». Для стабилизации прямых эмульсий М/В используют полярные (гидрофильные) порошки, хорошо смачиваемые «водой». Неполярные (гидрофобные) порошки являются стабилизаторами обратных эмульсий В/М, так как они хорошо смачиваются «маслом».

При использовании в качестве стабилизаторов ПАВ, ВМС и порошков реализуются адсорбционно-сольватный и структурно-механический факторы устойчивости.

### 3.3.2. Основные свойства эмульсий

Важнейшей характеристикой, как прямой, так и обратной эмульсии, является *устойчивость* ее во времени, которую количественно описывают одной из двух величин – *скоростью расслоения эмульсии* или *временем жизни* отдельных капель в контакте с другими. Скорость расслоения эмульсии определяют, измеряя высоту (объем) отслоившейся ДФ через определенные промежутки времени после получения эмульсии. Время жизни отдельных капель определяют путем наблюдения с помощью микроскопа за поведением капли, помещенной на границу раздела фаз. Например, чтобы определить устойчивость эмульсии М/В, каплю «масла» помещают на границу раздела фаз «масло – вода» со стороны «воды» и измеряют время, через которое капля сольется с фазой «масло».

Специфическим свойством большинства эмульсий является *обращение фаз* – изменение типа эмульсии, т. е. переход  $M/V \leftrightarrow V/M$  и обратно. Обращение фаз эмульсий можно вызвать различными способами: добавкой эмульгатора противоположного действия (эмульгатор-антагонист), введением в эмульсию веществ, взаимодействующих с эмульгатором, добавкой электролита, повышением концентрации дисперсной фазы, изменением температуры, а также при механическом воздействии. Например,

сбивание сливок ведет к получению масла. При этом прямая эмульсия М/В (сливки) переходит в обратную эмульсию В/М (сливочное масло) с малым содержанием воды в виде дисперсной фазы.

Для разрушения эмульсий в промышленности используют следующие методы: химические, термические и электрические. Действие этих методов заключается в удалении защитных оболочек вокруг капель ДФ, препятствующих их слиянию. Процесс слияния капель называется *коалесценцией*.

Эмульсии имеют чрезвычайно широкое применение, в первую очередь в пищевой, фармацевтической и косметической промышленности. Многие пищевые продукты являются эмульсиями, так как организм человека способен усваивать только эмульгированные жиры. Некоторые лекарства готовят в виде эмульсий: прямые эмульсии используют для приема внутрь, а обратные – являются наружными средствами. Значительное место среди косметических средств занимают кремы эмульсионного типа, гели, шампуни и др.

## 4. МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### 4.1. Сталагмометрический метод определения поверхностного натяжения на границе «жидкость – газ»

Сталагмометр представляет собой стеклянную трубку с расширением в средней части и капилляром в нижней; на трубке нанесены две круговые метки,  $M_1$  и  $M_2$ , ограничивающие объем жидкости  $V$  (рис. 4.1). При вытекании из сталагмометра объема жидкости  $V$  через кончик капилляра 1 количество капель  $n$  зависит от поверхностного натяжения жидкости  $\sigma_{ж-г}$  и ее плотности  $\rho_{ж}$ .

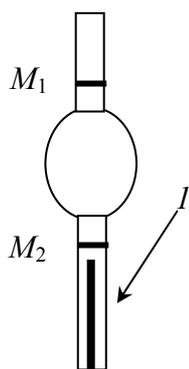


Рис. 4.1. Сталагмометр

Вес капли рассчитывают по формуле (4.1):

$$q = \frac{V \cdot \rho_{ж} \cdot g}{n}, \quad (4.1)$$

где  $\rho_{ж}$  – плотность жидкости,  $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$ ;  $g$  – ускорение свободного падения,  $\text{м} \cdot \text{с}^{-2}$ .

В основе метода лежит положение о том, что в момент отрыва капли сила ее тяжести  $q$  (вес капли) уравнивается силами поверхностного натяжения  $F$ :

$$q = F = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot \sigma_{ж-г}, \quad (4.2)$$

где  $r$  – радиус капилляра, м.

Приравняв правые части уравнений (4.1) и (4.2), получим следующее соотношение:

$$2 \cdot \pi \cdot r \cdot \sigma_{ж-г} = \frac{V \cdot \rho_{ж} \cdot g}{n}. \quad (4.3)$$

Из последнего соотношения выражают величину  $\sigma_{ж-г}$ :

$$\sigma_{ж-г} = \frac{V \cdot \rho_{ж} \cdot g}{2 \cdot \pi \cdot r \cdot n}. \quad (4.4)$$

Из (4.4) видно, что для нахождения поверхностного натяжения на границе раздела фаз «жидкость – газ» сталагмометрическим методом необходимо знать радиус капилляра.

Так как радиус капилляра неизвестен, то поверхностное натяжение  $\sigma_{ж-г}$  находят путем сравнения данных по истечению из сталагмометрической трубки исследуемой жидкости и стандартной жидкости с известным значением поверхностного натяжения  $\sigma_{ж-г}$ .

Уравнение (4.4) для стандартной жидкости может быть записано в виде

$$\sigma_{ст} = \frac{V \cdot \rho_{ст} \cdot g}{2 \cdot \pi \cdot r \cdot n_{ст}}, \quad (4.5)$$

где  $n_{ст}$  – количество капель при вытекании из сталагмометра стандартной жидкости.

Разделив (4.4) на (4.5), получаем формулу для расчета поверхностного натяжения исследуемой жидкости:

$$\sigma_{ж-г} = \sigma_{ст} \frac{\rho_{ж} \cdot n_{ст}}{\rho_{ст} \cdot n}. \quad (4.6)$$

В качестве стандартной жидкости чаще всего используют дистиллированную воду, зависимость поверхностного натяжения которой от температуры описывается формулой, Дж·м<sup>-2</sup>:

$$\sigma_{H_2O} = [7275 - 0,15 \cdot (T - 293)] \cdot 10^{-3}. \quad (4.7)$$

Эксперимент проводят следующим образом. Сталагмометр закрепляют в штативе. Стакан с водой поднимают так, чтобы конец сталагмометрической трубки погрузился в жидкость.

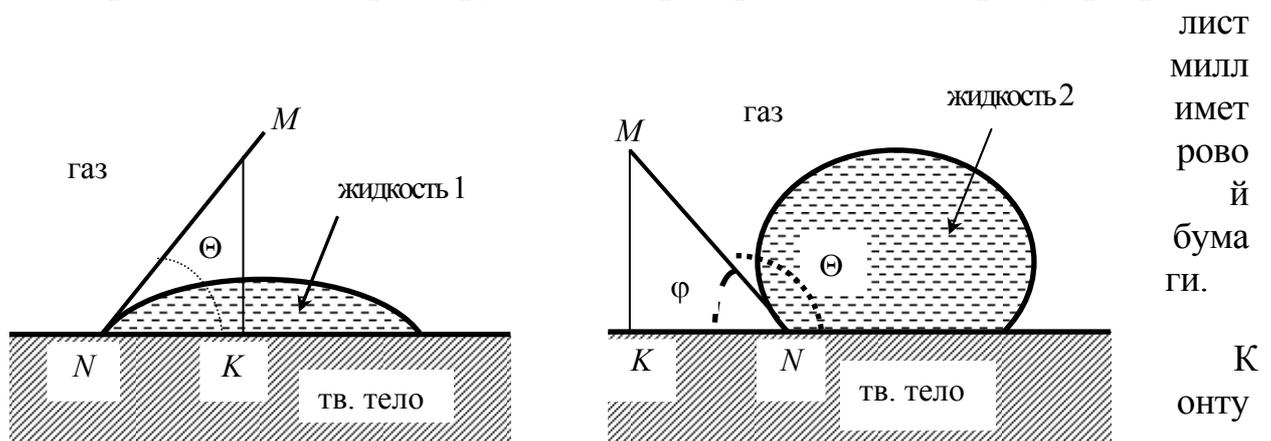
С помощью резиновой груши заполняют сталагмометр водой выше метки  $M_1$  (избегая образования пузырьков). Опускают стакан с водой на стол, убирают резиновую грушу. Вода начинает вытекать из сталагмометра. Подсчет капель начинают, когда уровень воды совпадет с меткой  $M_1$  и заканчивают, когда он совпадет с меткой  $M_2$ .

Опыт повторяют 2–3 раза. Расхождение в количестве подсчитанных капель не должно превышать 1–2. Для расчетов используют среднее значение числа капель.

## 4.2. Определение угла смачивания по методу «капли»

На поверхность пластины (металл, органическое стекло, резина и др.), помещенной перед объективом диапроектора, наносят каплю жидкости.

Изображение капли проецируются на экран (рис. 4.2), к которому прикреплен



Жидкость 1 смачивает твердое тело

Жидкость 2 не смачивает твердое тело

Рис. 4.2. К расчету угла смачивания

р капли обводят остро отточенным карандашом. К контуру капли жидкости в точке  $N$ , лежащей на линии смачивания и являющейся точкой соприкосновения трех фаз, проводят касательную  $NM$ . Из треугольника  $NMK$  определяют  $\cos\Theta$  и, соответственно, угол смачивания  $\Theta$ :  $\cos\Theta = \frac{NK}{MN}$  (при смачивании),  $\cos\Theta = -\cos\varphi$ ,  $\cos\varphi = \frac{NK}{MN}$  (при несмачивании).

### 4.3. Фотоколориметрический метод определения равновесной концентрации раствора красителя

*Фотоколориметрический метод* основан на измерении интенсивности света, прошедшего через окрашенный истинный раствор. Уменьшение интенсивности падающего на систему света происходит в результате его поглощения. Прибор, позволяющий сопоставить интенсивности падающего ( $I_0$ ) и прошедшего через раствор ( $I_{\text{пр}}$ ) света, называется *фотоэлектроколориметром* (ФЭК). С помощью ФЭКа измеряют величину *оптической плотности*  $D$ :

$$D = \lg\left(\frac{I_0}{I_{\text{пр}}}\right), \quad (4.8)$$

где  $I_{\text{пр}} = I_0 - I_{\text{погл}}$ .

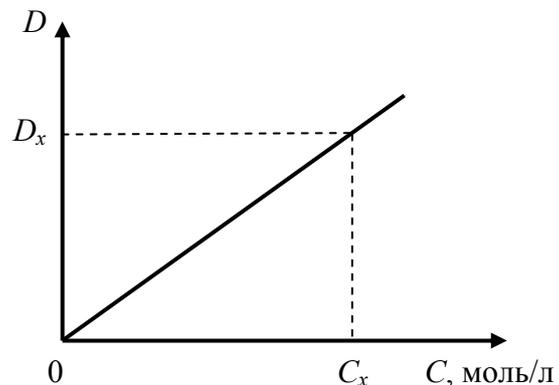
Зависимость оптической плотности от концентрации окрашенного раствора и толщины его слоя описывается уравнением

$$D = \varepsilon \cdot C \cdot l, \quad (4.9)$$

где  $\varepsilon$  – коэффициент погашения ( $\text{л} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ );  $C$  – концентрация раствора,  $\text{моль} \cdot \text{л}^{-1}$ ;  $l$  – толщина поглощающего слоя раствора, см.

График зависимости  $D = f(C)$  представляет собой прямую линию, выходящую из начала координат (рис. 4.3). график позволяет определить концентрацию раствора окрашенного вещества ( $C_x$ ) по известному значению его оптической плотности ( $D_x$ ).

Данный метод используется для определения равновесной концентрации раствора красителя, которая необходима для расчета величины адсорбции по уравнению (2.14).



Этот

Рис. 4.3. Зависимость оптической плотности раствора от концентрации

#### 4.4. Турбидиметрический метод определения среднего радиуса частиц дисперсной фазы

Турбидиметрическим методом анализа называется метод, основанный на измерении интенсивности света, прошедшего через систему ( $I_{\text{пр}}$ ), при условии, что интенсивность падающего светового потока ( $I_0$ ) ослабляется в результате его *рассеяния* дисперсной системой ( $I_{\text{рас}}$ ):

$$I_{\text{пр}} = I_0 - I_{\text{рас}} \quad (4.10)$$

Теория светорассеяния была разработана английским физиком Рэлеем для разбавленных дисперсных систем, содержащих *сферические, не поглощающие свет частицы, диаметр которых составляет  $\leq 0,1$  длины волны падающего света.*

Если рассматривать рассеяние света под углом в  $90^\circ$  по отношению к падающему свету, то уравнение Рэлея имеет вид

$$I_{\text{рас}} = \frac{24 \cdot \pi^3 \cdot \nu \cdot V^2}{\lambda^4} \cdot \left( \frac{n^2 - n_0^2}{n^2 + 2 \cdot n_0^2} \right)^2 \cdot I_0, \quad (4.11)$$

где  $I_{\text{рас}}$  – интенсивность света, который рассеивается единицей объема дисперсной системы ( $\text{Дж}/\text{см}^3$ );  $\nu$  – частичная концентрация, т. е. количество частиц дисперсной фазы в единице объема дисперсной системы ( $\text{частиц}/\text{см}^3$ );  $V$  – объем одной частицы ( $\text{см}^3/\text{частица}$ );  $\lambda$  – длина волны падающего света в дисперсионной среде ( $\text{см}$ );  $n$  – показатель преломления дисперсной фазы;  $n_0$  – показатель преломления дисперсионной среды;  $I_0$  – интенсивность падающего от источника света ( $\text{Дж}/\text{см}^2$ ).

Количественной характеристикой способности системы рассеивать свет является *мутность системы* ( $\tau$ ,  $\text{см}^{-1}$ ), которая показывает долю света, рассеянного частицами дисперсной фазы, по отношению к интенсивности падающего на систему света:

$$\tau = \frac{I_{\text{рас}}}{I_0} \quad (4.12)$$

Уравнение Рэлея (4.11) применяют для определения размера частиц ДФ дисперсных систем, способных рассеивать свет. Для этих целей его преобразуют используя соотношения (4.13 и 4.14):

$$\tau = \frac{2,303 \cdot D}{l}; \quad (4.13)$$

$$\nu = \frac{C}{\rho \cdot V}, \quad (4.14)$$

где  $C$  – весовая концентрация дисперсной фазы (г/см<sup>3</sup>);  $\rho$  – плотность вещества дисперсной фазы (г/см<sup>3</sup>).

Тогда объем ( $V$ , см<sup>3</sup>/частицу) частицы дисперсной фазы можно рассчитать по уравнению

$$V = \frac{\tau \cdot \rho \cdot \lambda^4}{24 \cdot \pi^3 \cdot C} \cdot \left( \frac{n^2 + 2 \cdot n_0^2}{n^2 - n_0^2} \right)^2. \quad (4.15)$$

Если принять, что частицы ДФ имеют сферическую форму, то их средний радиус  $r$ , см, можно рассчитать по формуле:

$$r = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot V}{4 \cdot \pi}}. \quad (4.16)$$

#### 4.5. Турбидиметрический метод определения порога медленной коагуляции гидрозоль под действием электролита

Для изучения процессов коагуляции гидрозоль под действием электролитов можно использовать турбидиметрический метод. В процессе слипания частиц дисперсной фазы образуются агрегаты, размер которых постепенно возрастает, поэтому увеличивается интенсивность рассеянного гидрозоль светом (согласно уравнению 4.11). Соответственно возрастают величины мутности  $\tau$  и оптической плотности  $D$  (4.12 и 4.13).

График зависимости величины  $D$  от объема электролита-коагулятора имеет вид (рис. 4.4). Величина  $V_m$  соответствует минимальному объему электролита, при добавлении которого к заданному объему золя происходит увеличение оптической плотности системы, что свидетельствует о начале процесса коагуляции.

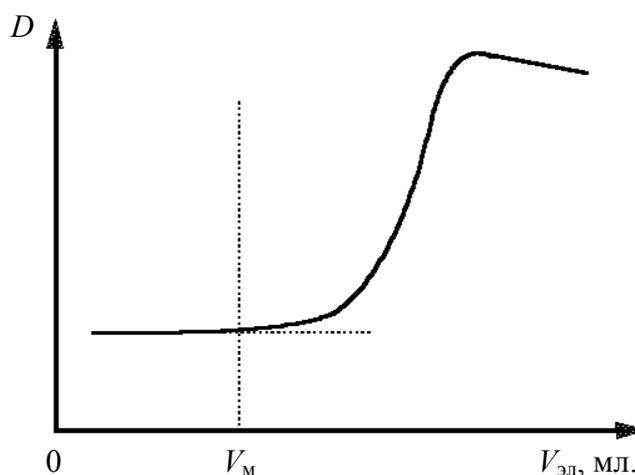


Рис. 4.4 Зависимость оптической плотности от объема раствора электролита

Порог медленной коагуляции можно рассчитать по формуле (3.1), используя экспериментально найденное значение  $V_m$ .

При исследовании коагуляции окрашенных золь данным методом необходимо исключить явление поглощения света. Для этих целей используют светофильтры, позволяющие проводить измерения величины  $D$  при тех длинах волн падающего света, которые не поглощаются окрашенными золями. Например, турбидиметрические измерения

окрашенного в красный цвет золя гидроксида железа следует проводить, используя красный светофильтр ( $\lambda = 620 - 625$  нм).

#### 4.6. Седиментационный метод оценки флокулирующего и стабилизирующего действия ВМС

Для изучения процессов стабилизации и флокуляции, которые имеют место при добавлении растворов ВМС к грубым суспензиям, используют метод, основанный на измерении скорости седиментации (осаждения) частиц. Экспериментальная часть этого метода заключается в измерении через определенные промежутки времени объема осадка  $V_{\text{осад}}$ , образующегося в результате оседания частиц. Опыт проводят как в отсутствие, так и в присутствии полимера. По экспериментальным данным рассчитывают объем осветленной части дисперсной системы ( $V_{\text{осв}}$ ) в каждый момент времени:

$$V_{\text{осв}} = V_{\text{общ}} - V_{\text{осад}}, \quad (4.17)$$

где  $V_{\text{общ}}$  – общий объем дисперсной системы, мл;  $V_{\text{осад}}$  – объем осадка мл, измеренного к моменту времени,  $\tau$ , мин.

Зная  $V_{\text{осв}}$  в каждый момент времени от начала процесса седиментации, определяют степень осветления ( $\alpha$ , %) суспензии по формуле

$$\alpha = \frac{V_{\text{осв}}}{V_{\text{общ}}} \cdot 100\%. \quad (4.18)$$

Построив графическую зависимость  $\alpha = f(\tau)$ , определяют время осветления суспензии, например, для  $\alpha = 30\%$  как в отсутствие  $\tau_0$ , так и в присутствии  $\tau_{\text{п}}$  полимера-флокулянта. По построенным данным рассчитывают *параметр флокулирующего действия полимера*  $D_{30\%}$ :

$$D_{30\%} = \frac{\tau_0}{\tau_{\text{п}}} - 1. \quad (4.19)$$

Параметр  $D_{30\%}$  (рекомендуемая в литературе характеристика) является относительной величиной, так как зависит от условий эксперимента: концентраций и объемов дисперсной системы и раствора добавляемого флокулянта. Если  $D_{30\%} > 0$ , то полимер является флокулянт, если же  $D_{30\%} < 0$ , то полимер, наоборот, стабилизирует дисперсную систему. Следует отметить, что флокулирующее действие тем больше, чем больше значение параметра  $D_{30\%}$ .

## 5. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

### 5.1. Лабораторная работа № 1. Определение поверхностного натяжения на границе раздела «жидкость 1 – жидкость 2»

*Оборудование, приборы, реактивы:* сталагмометр, делительная воронка, цилиндр, стаканчики, магнитная мешалка, органические жидкости (бензол, толуол, четыреххлористый углерод).

*Порядок выполнения.*

1. Приготовить смесь из органической жидкости и воды (по указанию преподавателя). Смесь перемешивать в течение 30–40 мин с помощью магнитной мешалки.

2. Перелить смесь в делительную воронку, подождать некоторое время, пока не произойдет расслоение смеси на органический и водный слой. Сравнив плотности органического вещества и воды, определить, какой слой является нижним, а какой – верхним.

3. Аккуратно открывая кран, слить из воронки нижний слой в один стаканчик, а верхний – в другой.

4. Сталагмометр заполнить дистиллированной водой выше метки  $M_1$  и подсчитать количество капель, образующихся при вытекании воды из капилляра от метки  $M_1$  до  $M_2$ . Опыт провести 3 раза и определить среднее число капель.

5. Заполнить сталагмометр водным слоем и провести подсчет капель (см. п. 4). Каждый опыт повторить 3 раза и определить среднее число капель для водного слоя. При проведении измерений сталагмометр необходимо предварительно промывать исследуемой жидкостью.

6. Заполнить сталагмометр органическим слоем и провести подсчет капель (см. п. 4). Каждый опыт повторить 3 раза и определить среднее число капель для органического слоя. При проведении измерений сталагмометр необходимо предварительно промывать исследуемой жидкостью.

7. По формуле (4.7) рассчитать поверхностное натяжение воды при температуре опыта.

8. По формуле (4.6) рассчитать поверхностное натяжение водного и органического слоя, приняв, что плотность водного слоя приблизительно равна плотности воды, а органического слоя – плотности чистой органической жидкости.

9. По формуле (2.6) определить поверхностное натяжение на границе органического и водного слоев.

### 5.2. Лабораторная работа № 2. Определение поверхностной активности поверхностно-активных веществ

*Оборудование, приборы, реактивы:* сталагмометр, стаканчики, водные растворы ПАВ (пропанола  $C_0 = 1$  моль/л, бутанола  $C_0 = 0,5$  моль/л, пентанола  $C_0 = 0,2$  моль/л).

*Порядок выполнения.*

1. Согласно варианту (см. таблицу), из исходного раствора ПАВ приготовить растворы с концентрациями  $C_1, C_2, C_3, C_4$ , производя расчеты по формуле

$$C_{\text{приг}} \cdot V_{\text{приг}} = C_0 \cdot V_0.$$

Объем приготавливаемых растворов  $V_{\text{приг}} = 20$  мл.

Таблица

**Задания по вариантам**

№ ра-ра	Концентрации приготавливаемых растворов, $C$ , моль·л <sup>-1</sup>					
	пропанол		бутанол		пентанол	
	вариант 1	Вариант 2	вариант 3	вариант 4	вариант 5	вариант 6
1	0,20	0,15	0,09	0,07	0,02	0,03
2	0,24	0,22	0,13	0,12	0,04	0,05
3	0,36	0,28	0,18	0,16	0,06	0,07
4	0,48	0,38	0,22	0,20	0,10	0,08

2. Сталагмометр заполнить дистиллированной водой выше метки  $M_1$  и подсчитать количество капель, образующихся при вытекании воды из капилляра от метки  $M_1$  до  $M_2$ . Опыт провести 3 раза и определить среднее число капель.

3. Заполнить сталагмометр самым разбавленным раствором из приготовленных и произвести подсчет капель (см. п. 2). Опыт провести 3 раза, определить среднее число капель.

4. Аналогичным образом провести измерения с остальными растворами ПАВ, переходя от более разбавленного раствора к более концентрированному.

5. По формуле (4.7) рассчитать поверхностное натяжение воды при температуре опыта.

6. По формуле (4.6) рассчитать поверхностное натяжение водных растворов ПАВ, приняв, что их плотности приблизительно равны плотности воды.

7. Построить изотерму поверхностного натяжения  $\sigma_{\text{ж-г}} = f(C)$ .

8. Графическим методом определить поверхностную активность ПАВ (подраздел 2.1, рис. 2.2).

### **5.3. Лабораторная работа № 3. Определение удельной поверхности твердого адсорбента**

*Оборудование, приборы, реактивы:* фотоэлектроколориметр, встряхиватель, 4 стеклянные колбы, 4 пластиковые баночки с крышками, водные растворы красителей (фуксин  $C_0 = 11,8 \cdot 10^{-5}$  моль/л; конго красный  $C_0 = 14,1 \cdot 10^{-5}$  моль/л; кристаллический фиолетовый  $C_0 = 5,6 \cdot 10^{-5}$  моль/л), навески адсорбентов (активированный уголь, фильтровальная бумага).

*Порядок выполнения.*

1. Согласно варианту (см. таблицу), приготовить в пластиковых баночках 4 раствора красителя с концентрациями  $C_1, C_2, C_3, C_4$ , производя расчеты по формуле:

$$C_{\text{приг}} \cdot V_{\text{приг}} = C_0 \cdot V_0.$$

Объем приготавливаемых растворов  $V_{\text{приг}} = 20$  мл.

Таблица

**Задания по вариантам**

№ р-ра	Концентрации растворов красителя, $C \cdot 10^5$ , моль/л		
	вариант 1 фуксин	вариант 2 конго красный	вариант 3 крист. фиолетовый
1	5,90	7,05	2,80
2	4,72	5,64	2,24
3	3,54	4,23	1,68
4	2,36	2,82	1,12

2. В каждую баночку поместить по навеске адсорбента одинаковой массы и закрыть ее крышкой. Поставить баночки на 20 мин на встряхиватель.

3. В стеклянных колбах приготовить 4 аналогичных раствора соответствующего красителя (см. п. 1) и на ФЭКе определить оптическую плотность этих растворов  $D_1, D_2, D_3, D_4$ . Измерения проводить при следующих длинах волн падающего света: фуксин  $\lambda = 490$  нм, конго красный  $\lambda = 540$  нм, кристаллический фиолетовый  $\lambda = 590$  нм.

4. Построить графическую зависимость  $D = f(C)$ .

5. После окончания встряхивания измерить оптическую плотность каждого из растворов в пластиковых баночках:  $D_{1, \text{равн}}, D_{2, \text{равн}}, D_{3, \text{равн}}, D_{4, \text{равн}}$  (считать, что за время встряхивания на границе раздела фаз «адсорбент – раствор» установилось адсорбционное равновесие).

6. Используя построенную зависимость  $D = f(C)$ , по полученным значениям  $D_{1, \text{равн}}, D_{2, \text{равн}}, D_{3, \text{равн}}, D_{4, \text{равн}}$  определить равновесные концентрации красителя  $C_{1, \text{равн}}, C_{2, \text{равн}}, C_{3, \text{равн}}, C_{4, \text{равн}}$ .

7. Используя формулу (2.12), рассчитать величину адсорбции красителя в каждом опыте:  $a_1, a_2, a_3, a_4$ .

8. По полученным данным рассчитать значения  $\frac{1}{a}$  и  $\frac{1}{C}$  и построить изотерму адсорбции Лэнгмюра в координатах  $\frac{1}{a} = f\left(\frac{1}{C}\right)$  (рис. 2.6).

9. Из построенного графика определить предельную адсорбцию по Лэнгмюру  $a_\infty$ .

10. По формуле (2.14) рассчитать  $S_{\text{уд}}$ , используя величину площади, занимаемой молекулой красителя на поверхности адсорбента  $S_0$  (фуксин  $S_0 = 200 \cdot 10^{-20}$  м<sup>2</sup>, конго красный  $S_0 = 210 \cdot 10^{-20}$  м<sup>2</sup>, кристаллический фиолетовый  $S_0 = 180 \cdot 10^{-20}$  м<sup>2</sup>).

#### 5.4. Лабораторная работа № 4. Определение угла смачивания твердых материалов жидкостью. Расчет работы адгезии

*Оборудование, приборы, реактивы:* диапроектор, пластинки из различных твердых материалов, шприцы, водные растворы ПАВ с известными значениями величин  $\sigma_{ж-г}$ .

*Порядок выполнения.*

1. Получить у преподавателя три пластины и раствор ПАВ.
2. Поместить одну из пластин на подставку перед объективом диапроектора. С помощью шприца осторожно нанести каплю жидкости (объемом  $\approx 0,20 \text{ см}^3$ ) на поверхность пластины у самого ее края, обращенного в сторону объектива.
3. Включить диапроектор, добиться четкого изображения капли на экране.
4. Прикрепить на экран лист миллиметровой бумаги ( $20 \times 15 \text{ мм}$ ).
5. Остро отточенным карандашом обвести контур капли на листе миллиметровой бумаги.
6. Провести аналогичные опыты с другими пластинами.
7. Выключить диапроектор.
8. Рассчитать косинус угла смачивания и угол смачивания для каждой пластины.
9. Сделать вывод о том, какая из пластин лучше смачивается исследуемой жидкостью (раствором ПАВ).
10. Используя уравнение Дюпре – Юнга (2.19), рассчитать работу адгезии жидкости ( $A_{адг}$ ) для каждой пластины.

#### 5.5. Лабораторная работа № 5. Определение порога медленной коагуляции гидрозоль гидроксида железа (III)

*Оборудование, приборы, реактивы:* пробирки, пипетки, кюветы, фотоколориметр, секундомер, гидрозоль гидроксида железа, растворы электролитов  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{ZnSO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$  ( $C = 2,5 \cdot 10^{-3}$  моль/л).

*Порядок выполнения.*

1. В 6 пробирок налить по 5 мл гидрозоля.
2. В другие 6 пробирок налить  $V_{эл}$  и  $V_{воды}$  соответственно номеру опыта (см. таблицу). Электролит указывает преподаватель.

Таблица

Результаты измерений

№ опыта	Объем золя, мл	Объем воды, мл	Объем раствора электролита, мл	Оптическая плотность, $D$
1	5,0	4,7	0,3	–
2	5,0	4,5	0,5	–

3	5,0	4,0	1,0	–
4	5,0	3,0	2,0	–
5	5,0	2,0	3,0	–
6	5,0	1,5	3,5	–

3. Подготовить к работе фотоэлектроколориметр, установить длину волны  $\lambda = 620$  нм. Кювету сравнения заполнить дистиллированной водой.

4. В первую пробирку с золей прилить раствор электролита согласно опыту № 1 и включить секундомер.

5. Перемешать смесь, переливая ее из пробирки в пробирку (не менее 3 раз). Затем полученную смесь налить в кювету и измерить величину  $D$  через промежуток времени, указанный преподавателем.

6. Аналогичным образом провести измерения оптической плотности остальных смесей золя с электролитом-коагулятором (опыты № 2–6).

7. Полученные величины  $D$  занесены в таблицу и построить график зависимости  $D = f(V_{\text{эл}})$ .

8. По графику найти величину  $V_m$  и рассчитать порог медленной коагуляции по формуле (3.1).

9. Написать строение структурной единицы дисперсной фазы гидрозоль  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , полученного гидролизом  $\text{FeCl}_3$ . Указать ион-коагулятор.

### 5.6. Лабораторная работа № 6. Определение параметра флокулирующего действия ВМС

*Оборудование, приборы, реактивы:* мерный цилиндр объемом 250 мл, мерная колба на 100 мл, стакан объемом не менее 400 мл, стеклянная палочка, водные растворы ВМС ( $C = 0,001\%$ ), водно-волокнистая суспензия, секундомер.

*Порядок выполнения.*

1. Цилиндром отмерить 150 мл волокнистой суспензии, вылить ее в стакан, добавить 100 мл дистиллированной воды и аккуратно, не взбалтывая, перемешать полученную смесь.

2. Смесь перелить в цилиндр, установить его на ровную поверхность и включить секундомер.

3. В течение 5 мин с интервалом в 1 мин производить измерения объема осадка, образующегося при оседании частиц ДФ суспензии.

4. По полученным величинам  $V_{\text{осад}}$  рассчитать объем осветленной части суспензии  $V_{\text{осв}}$  и степень осветления  $\alpha$  по формуле (4.18).

5. Построить график зависимости  $\alpha = f(\tau)$  и определить по графику время  $\tau_0$ , за которое осветлилось 30% объема суспензии ( $\alpha = 30\%$ ).

6. В мерную колбу на 100 мл поместить объем раствора ВМС (по заданию преподавателя), довести до метки дистиллированной водой, тщательно перемешать.

7. Цилиндром отмерить 150 мл волокнистой суспензии, вылить ее в стакан, добавить 100 мл приготовленного раствора полимера, перемешать полученную смесь и перелить ее в цилиндр.

8. В течение 5 мин с интервалом в 1 мин производить измерения объема осадка, образующегося при оседании частиц ДФ суспензии

9. Построить график зависимости  $\alpha = f(\tau)$  и определить время  $\tau_p$ , необходимое для осветления 30% суспензии в присутствии полимера.

10. По формуле (4.19) рассчитать  $D_{30\%}$ , сделать вывод, какое действие полимер оказывает на суспензию: флокулирующее или стабилизирующее.

### **5.7. Лабораторная работа № 7. Получение водной эмульсии скипидара методом физической конденсации. Определение среднего радиуса капель эмульсии**

*Оборудование, приборы, реактивы:* фотоэлектроколориметр, кюветы ( $l = 3,0$  см), рефрактометр, мерная колба на 50 мл, чистый скипидар  $\rho = 0,86$  г/см<sup>3</sup>), спиртовой раствор скипидара ( $C_0 = 0,01$  г/см<sup>3</sup>) раствор стабилизатора (эмульгатора), пипетки.

*Порядок выполнения.*

1. В мерную колбу на 50 мл налить 30–40 мл водного раствора стабилизатора, добавить объем спиртового раствора скипидара, заданный преподавателем ( $V_x$ ), перемешать, довести до метки раствором стабилизатора и снова перемешать.

2. Рассчитать весовую концентрацию вещества дисперсной фазы (скипидара) приготовленной эмульсии по формуле

$$C_x = \frac{C_0 \cdot V_x}{50}. \quad (5.1)$$

3. С помощью рефрактометра определить показатели преломления скипидара  $n$  и водного раствора стабилизатора  $n_0$ .

4. При помощи ФЭКа определить оптическую плотность  $D$  полученной эмульсии при  $\lambda_0 = 540$  нм. Кювета сравнения заполнена раствором стабилизатора.

5. Используя величины  $D$  и  $n_0$ , рассчитать следующие величины:

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{n_0}, \quad \tau = \frac{2.303 \cdot D}{l}. \quad (5.2)$$

6. Рассчитать объем частицы ДФ эмульсии скипидара и ее средний радиус по формулам (4.15) и (4.16).

## ЛИТЕРАТУРА

### Основная

1. Воюцкий, С. С. Курс коллоидной химии / С. С. Воюцкий. – М.: Химия, 1976.
2. Фролов, Ю. Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы / Ю. Г. Фролов. – М.: Химия, 1989.
3. Поверхностные явления и дисперсные системы: лабораторный практикум для студентов химико-технологических специальностей / А. А. Шершавина [и др.]. – Минск: БГТУ, 2005.
4. Поверхностные явления и дисперсные системы: метод. указания и контрольные задания для студентов-заочников / Т. А. Бутько [и др.]. – Минск: БГТУ, 2003.

### Дополнительная

1. Фридрихсберг, Д. А. Курс коллоидной химии / Д. А. Фридрихсберг. – СПб.: Химия, 1995.
2. Зимон, А. Д. Коллоидная химия / А. Д. Зимон, И. Ф. Лещенко. – М.: Агар, 2003.
3. Поверхностные явления и дисперсные системы. Вопросы и задачи для самостоятельной работы и контроля текущих знаний студентов / Г. Г. Эмелло [и др.]. – Минск: БГТУ, 2004.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
1. ПРОГРАММА.....	4
2. ПОВЕРХНОСТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ.....	6
2.1. Поверхностное натяжение на границах раздела «жидкость – газ», «жидкость – жидкость».....	6
2.2. Молекулярная адсорбция поверхностно-активных веществ на границе раздела «раствор – газ».....	10
2.3. Молекулярная адсорбция поверхностно-активных веществ на границе раздела «раствор – твердое тело».....	11 14 17
2.4. Адгезия и смачивание.....	17
3. ДИСПЕРСНЫЕ СИСТЕМЫ.....	
3.1. Гидрозоли.....	17
3.1.1. Получение гидрозолей методом химической конденсации. Строение частиц дисперсной фазы гидрозоля (СЕГ).....	19 20 20
3.1.2. Закономерности электролитной коагуляции гидрозолей	21
3.2. Суспензии.....	22
3.2.1. Классификация суспензий.....	23
3.2.2. Методы получения и стабилизации суспензий.....	23
3.2.3. Методы разрушения разбавленных суспензий.....	24
3.3. Эмульсии.....	26
3.3.1. Классификация и методы получения эмульсий.....	
3.3.2. Основные свойства эмульсий.....	26
4. МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	27
4.1. Сталагмометрический метод определения поверхностного натяжения на границе «жидкость – газ».....	28
4.2. Определение угла смачивания методом «капли».....	29
4.3. Фотоколориметрический метод определения равновесной концентрации раствора красителя.....	31
4.4. Турбидиметрический метод определения среднего радиуса частиц дисперсной фазы.....	31 33
4.5. Турбидиметрический метод определения порога медленной коагуляции гидрозоля под действием электролита.....	33
4.6. Седиментационный метод оценки флокулирующего и стабилизирующего действия ВМС.....	34
5. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.....	35
5.1. Лабораторная работа № 1. Определение поверхностного натяжения на границе раздела «жидкость 1 – жидкость 2».....	36

5.2. Лабораторная работа № 2. Определение поверхностной активности поверхностно-активных веществ.....	37
5.3. Лабораторная работа № 3. Определение удельной поверхности адсорбента.....	38
5.4. Лабораторная работа № 4. Определение угла смачивания твердых материалов жидкостью. Расчет работы адгезии.....	39
5.5. Лабораторная работа № 5. Определение порога медленной коагуляции гидрозоля гидроксида железа (III).....	40
5.6. Лабораторная работа № 6. Определение параметра флокулирующего действия ВМС.....	37
5.7. Лабораторная работа № 7. Получение водной эмульсии скипидара методом физической конденсации. Определение среднего радиуса капель эмульсии.....	
ЛИТЕРАТУРА.....	