

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДИЗАЙНА»

ВЫСШАЯ ШКОЛА ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГЕТИКИ

В.В. Соколов, В. А. Липин, Т.А. Суставова

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО КОЛЛОИДНОЙ ХИМИИ

Учебное пособие

Санкт-Петербург
2016

УДК 541.123(075.8)
ББК 24.1я7
Л 840

Соколов В.В., Липин В.А., Суставова Т.А. Лабораторные работы по коллоидной химии: учеб. пособие.- СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2016. – 46 с.

Настоящее пособие содержит лабораторные работы по коллоидной химии. В практикум включены работы по поверхностным явлениям, адсорбции, электрокинетическим явлениям, устойчивости и оптическим свойствам коллоидных систем и набухании ВМС. Дается краткое теоретическое обоснование каждой выполняемой лабораторной работы.

Все лабораторные работы соответствуют рабочим программам по дисциплине «Коллоидная химия».

Учебное пособие предназначено студентам технических вузов и факультетов, обучающимся по химическим и технологическим специальностям. Может быть полезно для аспирантов, научных и инженерно-технических работников химических предприятий, проектных и исследовательских организаций.

Рецензенты:

зав. кафедрой физической химии СПбТИ, профессор, д-р. хим. наук
Слободов А. А.;

д-р. техн. наук., профессор кафедры промышленной теплоэнергетики ВШТЭ
СПбГУПТД Казаков В.Г.

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом
университета в качестве учебного пособия.

© Высшая школа технологии и энергетики
СПбГУПТД, 2016

© Соколов В.В., Липин В. А., Суставова Т.А., 2016

Введение

Лабораторные практические занятия являются одним из важнейших звеньев учебно-педагогического процесса: на этих занятиях студенты получают навыки экспериментальной работы, приучаются самостоятельно делать выводы из наблюдаемых явлений.

В каждой главе перед описанием отдельных работ дается теоретическое обоснование. Оно необходимо потому, что практические занятия часто начинаются раньше, чем завершается чтение лекций по дисциплине «Коллоидная химия». В теоретическом обосновании даны те знания, которые позволяют студенту сознательно и вполне самостоятельно проделать каждую работу. Поэтому методическое пособие может быть полезным не только для студентов химических и технологических факультетов, но и для более широкого круга лиц, интересующихся экспериментальными методами коллоидной химии.

Назначение методического пособия – помочь студенту не только хорошо усвоить основные законы коллоидной химии, но и ознакомиться с ее экспериментальными методами.

Некоторые практические советы. Выполнение каждой экспериментальной работы в химической лаборатории проходит следующие этапы:

- 1) теоретическая подготовка экспериментатора;
- 2) подготовка объекта исследования и установки и исследование, в результате которого получается фактический экспериментальный материал;
- 3) теоретическая обработка данных экспериментального исследования и их оценка.

Теоретическую подготовку к выполнению исследования следует начинать с таким расчетом, чтобы к началу эксперимента все основные теоретические вопросы были полностью выяснены.

Методическое пособие предназначено для самостоятельной работы студента под руководством преподавателя. Поэтому о выполнении каждой работы должен быть составлен подробный отчет.

Авторы благодарят доцента кафедры физической и коллоидной химии Санкт-Петербургской государственной химико-фармацевтической академии Кучук В.И. за внимательный просмотр учебного пособия, полезные советы и ценные замечания.

1. ПОВЕРХНОСТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В КОЛЛОИДНЫХ СИСТЕМАХ

1.1. Поверхностная энергия и поверхностное натяжение

Дисперсная система — это образования из двух или большего числа фаз (тел), которые практически не смешиваются и не реагируют друг с другом химически. Первое из веществ (дисперсная фаза) распределено во втором (дисперсионная среда). Если фаз несколько, их можно отделить друг от друга физическим способом (например, центрифугированием).

Коллоидные системы — это многокомпонентные гетерогенные дисперсные системы с размером частиц от 10^{-7} до 10^{-9} м.

Золи — это коллоидные системы с твердой дисперсной фазой.

Обычно дисперсные системы — это коллоидные растворы, золи.

Дисперсная система может состоять из разных фаз только в том случае, если межмолекулярные взаимодействия в граничащих фазах различны. Это взаимодействие зависит от *внутреннего давления* (силы притяжения между молекулами жидкости): чем оно больше, тем сильнее это взаимодействие.

Капля жидкости имеет форму, при которой ее поверхность является наименьшей, то есть сферическую. На поверхности жидкости имеется слой молекул, неуравновешенных межмолекулярными силами, который стремится ее сжать.

Внутреннее давление стремится уменьшить взаимодействие между молекулами на поверхности жидкости, втягивая их внутрь. Сила, обуславливающая уменьшение взаимодействия между молекулами на поверхности жидкости и действующая на единицу длины границы раздела жидкость-воздух, называется *поверхностным натяжением*. Под действием поверхностного натяжения капля жидкости при отсутствии внешних сил стремится принять сферическую форму, так как это наименьшая поверхность, ограничивающая объем, следовательно, поверхностная энергия будет минимальной.

Также *поверхностное натяжение* — это поверхностная энергия, приходящаяся на единицу межфазной поверхности.

Поверхностное натяжение можно определить методом наибольшего давления пузырьков воздуха (см. п.1.4) и рассчитать по формуле:

$$\sigma_p = \sigma_{H_2O} \cdot (h_p / h_{H_2O}), \quad (1.1)$$

σ_p - поверхностное натяжение раствора, Дж/м²;

σ_{H_2O} - поверхностное натяжение воды, взятое из справочных данных при данной температуре, Дж/м²;

h_p - показания манометра для раствора, дел.;

h_{H_2O} - показания манометра для воды, дел.

1.2. Поверхностно-активные вещества

Поверхностно-активные вещества – вещества, понижающие поверхностное натяжение. По отношению к водным растворам таковыми являются спирты, жирные кислоты и их соли, амины и др., т.е. вещества, имеющие *дифильное строение* (функциональные группы + углеводородный радикал). ПАВ взаимодействуют с водой слабее, чем молекулы воды между собой. Следовательно, при добавлении ПАВ, происходит уменьшение поверхностного натяжения за счет наличия гидрофобного углеводородного радикала.

Поверхностно-инактивные вещества – вещества, повышающие поверхностное натяжение. К ним относятся сильные электролиты: соли, щелочи, кислоты. Ионы этих веществ взаимодействуют с молекулами воды сильнее, чем молекулы самой воды между собой, то есть обладают хорошей диссоциацией в воде. Поэтому большая часть ионов увлекается молекулами воды в объем раствора. А оставшиеся на поверхности ионы создают вблизи поверхности силовое поле, тем самым повышая поверхностное натяжение.

Поверхностно-неактивные вещества – вещества, растворение которых практически не приводит к изменению поверхностного натяжения. Это вещества, имеющие много полярных (функциональных) групп, например, сахара.

1.3. Адсорбция. Уравнение Гиббса

Адсорбция – самопроизвольное изменение концентрации одного из компонентов гетерогенной системы на границе раздела фаз. Адсорбция может происходить на поверхностях раздела:

- твердое – газ;
- твердое – раствор;
- раствор – газ.

Адсорбция на границе раздела фаз «жидкость-газ» (т.е. «вода-воздух»). Этот вид адсорбции заключается в том, что растворенное в жидкости вещество концентрируется на поверхности жидкого раствора на границе с газом.

Особенности таких систем:

- поверхность жидкости однородна (равноценна для адсорбции);
- молекулы растворенного вещества (адсорбата) могут свободно передвигаться по поверхности жидкости под действием теплового движения;
- силы взаимодействия в газе малы, т.е. силовым полем газовой фазы можно пренебречь.

Уравнение адсорбции Гиббса:

$$\Gamma_i = -\frac{c_i}{RT} \cdot \frac{d\sigma}{dc_i}, \quad (1.2)$$

где Γ_i – избыточная адсорбция i -го компонента, моль/м²;
 c_i – его равновесная концентрация в растворе, моль/дм³;
 σ – поверхностное натяжение, Дж/м²
 T – температура, при которой происходит адсорбция, К;
 R – газовая постоянная, Дж/(моль·К);

$-\frac{d\sigma}{dc_i}$ – поверхностная активность, которая определяется при

бесконечном разбавлении.

Для ПАВ $\frac{d\sigma}{dc} < 0$.

Изотерма адсорбции – зависимость величины адсорбции от концентрации растворенного в жидкости вещества.

При сравнительно высоких концентрациях раствора на его поверхности образуется насыщенный монослой из молекул ПАВ, которому соответствует $\Gamma = \Gamma_{\infty}$, где Γ_{∞} – максимальная адсорбция Гиббса, моль/м². По величине Γ_{∞} можно рассчитать размеры молекул ПАВ: площадь поперечного сечения полярной группы и длину молекулы:

$$S_0 = \frac{1}{\Gamma_{\infty} N_A}, \quad (1.3)$$

$$\delta = \Gamma_{\infty} M / \rho, \quad (1.4)$$

где $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ – число Авогадро, моль⁻¹;

S_0 – поперечный размер молекулы, м²;

Γ_{∞} – максимальная адсорбция Гиббса, моль/м²;

M – молекулярная масса, г/моль;

ρ – плотность ПАВ, г/м³.

Лабораторная работа № 1

«Определение поверхностного натяжения методом наибольшего давления пузырьков воздуха»

Цель работы

Измерение поверхностного натяжения n -бутилового спирта с различными концентрациями: 0,01 М, 0,05 М, 0,1 М, 0,3 М, 0,4 М и 0,5 М при разных концентрациях методом максимального давления пузырьков воздуха. Определение максимальной адсорбции Гиббса. Определение количества адсорбированного вещества. Определение размеров молекул.

Описание работы

Поверхностное натяжение определяется методом максимального давления пузырьков воздуха в чистой воде, а затем в исследуемой жидкости или растворе ПАВ.

Относительный метод состоит в том, что измеряется давление, требуемое для образования пузырьков воздуха на границе газ-жидкость.

Описание экспериментальной установки

На схеме представлен прибор П.А. Ребиндера для определения поверхностного натяжения по методу наибольшего давления газовых пузырьков или капель.

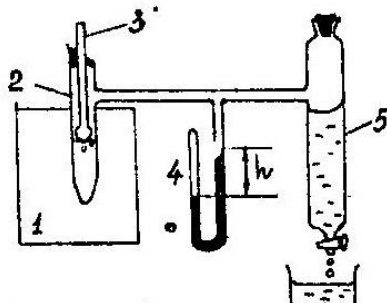


Рис.1.1. Схема прибора Ребиндера. 1- стеклянный термостат, в котором поддерживается постоянная температура (порядка комнатной); 2- вакуумная пробирка; 3- пипетка с капиллярным кончиком; 4- жидкостной манометр; 5- аспиратор (капельная воронка), создающая в установке разряжение.

Ход работы

1. В капельную воронку наливают дистиллированную воду.
2. В колбу грушевидной формы с боковым отводом также наливают дистиллированную воду в таком количестве, чтобы кончик капилляра был едва опущен в воду. Боковой отвод колбы должен быть соединен шлангом с манометром.
3. Перед измерениями необходимо установить равную температуру измеряемого раствора и воды в термостате (процесс занимает примерно 10 минут).
4. Для создания разряжения открывают кран капельной воронки, регулируя скорость капель.
5. В момент проскакивания пузырьков в грушевидной колбе записывают показания манометра (сумма или разница делений).
6. Дистиллированную воду измеряют трижды и записывают среднее значение давления.
7. Таким же образом проводят измерения с каждой концентрацией исследуемого раствора поочередно, начиная с наименьшей. После измерений раствор сливают обратно в емкость.

Обработка результатов

1. На основании полученных результатов рассчитывается поверхностное натяжение по формуле (1.1). Для этого записывают температуру, при которой происходили измерения. Далее строится изотерма поверхностного натяжения $\sigma = f(C)$.
2. Из полученных значений поверхностного натяжения рассчитывают величину адсорбции по формуле (1.2).

3. По расчетным данным строится изотерма адсорбции на границе раздела вода-воздух для растворов ПАВ $\Gamma=f(C)$ (рис. 1.2).

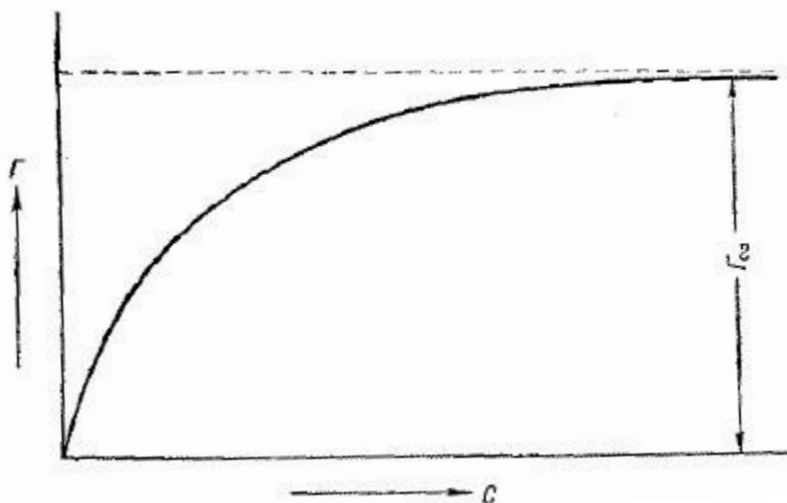


Рис. 1.2. Зависимость адсорбции от концентрации раствора ПАВ

4. Графически определить Γ_{∞} , как показано на рис. 1.2.

5. Рассчитать размеры молекулы по формулам (1.3) и (1.4).

Контрольные вопросы:

1. Почему с увеличением концентрации ПАВ уменьшается поверхностное натяжение?

2. Какой можно сделать вывод, исходя из полученного численного значения максимальной адсорбции Гиббса?

3. Дайте определение адсорбции. Что такое изотерма адсорбции?

4. Объясните полученные результаты и сделайте выводы по работе.

2. АДСОРБЦИЯ РАСТВОРЕННОГО В ЖИДКОСТИ ВЕЩЕСТВА НА ТВЕРДОМ АДСОРБЕНТЕ

Адсорбция на границе раздела «твердое тело – жидкость» - это самопроизвольное изменение концентрации растворенного вещества вблизи поверхности твердого *адсорбента* (вещества, на котором происходит адсорбция).

Явления адсорбции из жидких растворов на твердых адсорбентах в зависимости от природы *адсорбтива* (поглощаемого вещества) делятся на:

- молекулярную адсорбцию;
- ионную адсорбцию;
- адсорбцию коллоидных частиц.

2.1. Молекулярная адсорбция

Молекулярная адсорбция – адсорбция из растворов неэлектролитов (веществ, которые на ионы не распадаются и электрический ток не проводят) или слабых электролитов (веществ, которые проводит электрический ток вследствие диссоциации на ионы). В этих случаях растворенные вещества адсорбируются на поверхности твердого тела в виде молекул.

Молекулярную адсорбцию рассчитывают по следующей формуле:

$$\Gamma = \frac{(c_0 - c_s) \cdot V}{m}, \quad (2.1)$$

где Γ – адсорбция, моль/г;

c_0 -исходная концентрация (до контакта с адсорбентом), моль/дм³;

c_s - равновесная концентрация (после наступления адсорбционного равновесия), моль/дм³;

V – объём раствора ПАВ, в который введён адсорбент, дм³;

m – масса адсорбента, г.

Особенностью молекулярной адсорбции является то, что вместе с растворенным веществом адсорбируются молекулы растворителя.

Факторы, влияющие на молекулярную адсорбцию:

- равновесная концентрация растворенного вещества;
- природа растворителя;
- природа адсорбента;
- природа растворенного вещества;
- температура адсорбции.

1) *Влияние равновесной концентрации адсорбтива (c_s) на молекулярную адсорбцию* описывается изотермами адсорбции, которые можно свести к следующим видам:

•изотерма Ленгмюра, которая отвечает мономолекулярной адсорбции и описывается уравнением Ленгмюра:

$$a = a_{\infty} \frac{K \cdot c_s}{1 + K \cdot c_s}, \quad (2.2)$$

где a - количество адсорбированного вещества, приходящееся на 1 г адсорбента, моль/г;

a_{∞} - предельное количество адсорбированного вещества, приходящееся на 1 г адсорбента, моль/г;

K – константа равновесия;

c_5 - равновесная концентрация (после наступления адсорбционного равновесия), г/дм³;

- изотерма Фрейндлиха, которая описывается одноименным уравнением:

$$A = \beta \cdot c^{\frac{1}{n}}, \quad (2.3)$$

где A – абсолютная адсорбция, моль/г;

β – адсорбция при равновесной концентрации, моль/г;

$1/n$ – показатель, характеризующий степень приближения изотермы к прямой, для адсорбции из растворов меняется в пределах от 0,1 до 0,5;

- изотерма адсорбции, которая сопровождается абсорбцией;
- изотерма адсорбции для случаев, когда адсорбент достаточно хорошо адсорбирует растворитель;
- изотерма отрицательной адсорбции, когда концентрация молекул растворенного вещества в адсорбционном слое меньше, чем в объеме раствора.

2) Влияние природы растворителя на молекулярную адсорбцию

Чем хуже адсорбируется растворитель, тем лучше будет адсорбироваться растворенное вещество. А растворитель адсорбируется тем хуже, чем больше его поверхностное натяжение (σ) на границе Т-Ж. Отсюда следуют две закономерности:

- адсорбция на твердом адсорбенте идет лучше из водных растворов и хуже из органических растворов;
- правило Шилова: чем лучше растворитель растворяет вещество, тем хуже вещество адсорбируется из раствора.

3) Влияние природы адсорбента на молекулярную адсорбцию

Пора– это минимальное пространство между частицами вещества.

Пористость– отношение объема пор к общему объему материала.

Из свойств адсорбента на адсорбцию влияют его полярность и пористость. Экспериментальные данные позволили сформулировать правило: *неполярные твердые тела лучше адсорбируют неполярные адсорбтивы*.

Степень влияния пористости определяется соотношением размеров пор адсорбента и молекул растворенного вещества. Если молекулы растворенного вещества малы и легко проникают в поры твердого тела, то адсорбция идет лучше. Крупные молекулы не могут попасть в узкие поры адсорбента, и адсорбция уменьшается.

4) Влияние природы адсорбтива на молекулярную адсорбцию

ПАВ в силу своей дифильности растворяются как в полярных, так и в неполярных растворителях. В зависимости от вида растворителя должен выбираться подходящий адсорбент. Так для адсорбции ПАВ из водных

растворов следует использовать *гидрофобные* (неполярные) твердые тела, например, уголь. При адсорбции молекулы ПАВ строго ориентированы: углеводородный радикал взаимодействует с поверхностью угля, а полярная часть — с водой. Этим правилом объясняется тот факт, что в водных растворах стирального порошка (ПАВ) гораздо легче и быстрее стираются синтетические ткани, чем хлопчатобумажные или льняные, так как последние являются гораздо более полярными, а значит, адсорбция стирального порошка на синтетической ткани больше, чем на хлопчатобумажной или льняной.

Для адсорбции ПАВ из неполярных растворителей (бензола, толуола и т.д.) следует использовать *гидрофильный* адсорбент — силикагель (SiO_2), глину и т.д. Ориентация молекул ПАВ такова, что неполярный углеводородный радикал направлен в неполярный растворитель, а полярная часть молекулы взаимодействует с полярным адсорбентом.

Можно отметить следующие правила:

1. С увеличением молярной массы растворенного вещества его адсорбционная способность возрастает.
2. Ароматические соединения адсорбируются лучше, чем алифатические.
3. Непредельные органические соединения адсорбируются лучше, чем предельные.
4. При адсорбции предельных органических кислот и спиртов качественно соблюдается эмпирическое *правило Дюкло-Траубе*:

Адсорбционная способность увеличивается в 3—3,5 раза при удлинении углеводородной цепи на одно звено ($-\text{CH}_2-$).

Следует заметить, что указанные правила не выполняются для адсорбции на мелкопористых адсорбентах.

5) Влияние температуры и времени на адсорбцию

Адсорбция из растворов идет медленнее адсорбции газов, так как диффузия в жидкостях протекает значительно медленнее. Она может быть ускорена перемешиванием. Особенно медленно происходит адсорбция больших молекул на мелкопористых адсорбентах, так как в этих случаях равновесие устанавливается медленно или вовсе не наступает. Повышение температуры приводит к уменьшению адсорбции.

2.2. Ионная адсорбция

Ионная адсорбция – адсорбция из растворов сильных электролитов. В этом случае растворенное вещество адсорбируется в виде ионов.

Ионная адсорбция является более сложным процессом по сравнению с молекулярной адсорбцией, так как в растворе присутствуют уже частицы как минимум трех видов: катионы, анионы растворенного вещества и молекулы растворителя.

Особенности ионной адсорбции:

1. Адсорбируются заряженные частицы (ионы), а не молекулы.
2. Адсорбция происходит только на полярных адсорбентах.
3. Адсорбция сопровождается образованием двойного электрического слоя (ДЭС) (слой ионов, образующийся на поверхности частиц в результате адсорбции ионов из раствора, диссоциации поверхностного соединения или ориентирования полярных молекул на границе фаз).
4. Адсорбция является избирательной, т. е. на каждом данном адсорбенте катионы и анионы адсорбируются неодинаково.
5. Ионная адсорбция чаще всего кинетически необратима.
6. Для ионной адсорбции характерно явление обменной адсорбции, как вторичного адсорбционного процесса.

Факторы, влияющие на ионную адсорбцию:

1. Химическая природа адсорбента (чем более полярным является адсорбент, тем лучше он адсорбирует ионы из водных растворов).
2. Чем больше кристаллический радиус иона при одинаковом заряде, тем лучше он адсорбируется.
3. Чем больше заряд иона, тем сильнее ион притягивается противоположно заряженной поверхностью твердого тела, тем сильнее адсорбция.

2.3. Ионообменная адсорбция

Ионообменная адсорбция — это процесс, при котором твердый адсорбент обменивает свои ионы на ионы того же знака из жидкого раствора.

Особенности ионообменной адсорбции:

- не всегда обратима;
- может приводить к изменению pH среды;
- к обмену способны только определенные ионы, по своей природе этот процесс приближается к химическим явлениям.

Вещества, проявляющие способность к ионному обмену, называются *ионитами*. Иониты имеют структуру в виде каркаса, «сшитого» обычно ковалентными связями. Каркас имеет положительный или отрицательный заряд, скомпенсированный противоположным зарядом подвижных ионов (противоионов), которые могут заменяться на другие ионы с зарядом того же знака.

2.4. Смачивание

Смачивание — это поверхностное явление, заключающееся во взаимодействии жидкости с твердым или другими жидкими телами при наличии одновременного контакта с воздухом. Явления смачивания близки к

адсорбционным, так как и те и другие определяются интенсивностью взаимодействия между молекулами различных веществ.

Гидрофильность – физическое свойство системы, которая способна впитывать воду и имеет высокую смачиваемость поверхностей водой.

Гидрофобность – физическое свойство системы, которая «стремится» избежать контакта с водой.

На примере капли жидкости, нанесенной на поверхность твердого тела, могут наблюдаться два явления.

Явление 1. Капля жидкости самопроизвольно растекается на поверхности, пока не покроет всю поверхность или пока слой жидкости не станет однородным. Это *полное смачивание*.

Явление 2. Капля жидкости на твердой поверхности самопроизвольно принимает почти сферическую форму. В этом случае говорят, что твердая поверхность не смачивается жидкостью, наблюдается *полное несмачивание*.

Между этими крайними явлениями наблюдаются различные промежуточные, когда поверхность *частично смачивается* жидкостью.

Из термодинамики известно, что самопроизвольно протекают процессы, приводящие к уменьшению свободной энергии системы. В данном случае процесс протекает на поверхности, следовательно, он должен сопровождаться уменьшением *свободной поверхностной энергии*, которая характеризуется поверхностным натяжением σ . До того, как каплю нанесли на твердую поверхность, эта поверхность находилась в контакте с воздухом и имела поверхностное натяжение $\sigma_{\text{тв-г}}$. Поверхностное натяжение жидкости на границе с воздухом $\sigma_{\text{ж-г}}$. Когда капля оказалась на твердой поверхности, между ними возникла граница, которая характеризуется поверхностным натяжением $\sigma_{\text{тв-ж}}$. Следовательно, поведение капли определяется соотношением $\sigma_{\text{т-г}}$ и $\sigma_{\text{тв-ж}}$. Если $\sigma_{\text{тв-г}} > \sigma_{\text{тв-ж}}$, то системе выгодно, чтобы капля закрыла часть твердой поверхности, т. е. растеклась по ней. При этом происходит частичная замена поверхности с большей поверхностной энергией ($\sigma_{\text{т-г}}$) поверхностью с меньшей свободной энергией ($\sigma_{\text{тв-ж}}$), что, естественно, приводит к уменьшению запаса энергии в системе. Однако если капля жидкости будет растекаться, то увеличится площадь поверхности «жидкость—газ», а это приведет к увеличению свободной энергии системы. Отсюда можно сделать вывод, что если $(\sigma_{\text{т-г}} - \sigma_{\text{тв-ж}}) > \sigma_{\text{ж-г}}$, будет происходить полное смачивание. Если $(\sigma_{\text{т-г}} - \sigma_{\text{тв-ж}})$ соизмеримо с $\sigma_{\text{ж-г}}$, жидкость будет ограниченно растекаться по поверхности.

В том случае, когда $\sigma_{\text{т-г}} < \sigma_{\text{тв-ж}}$, наблюдается несмачивание твердого тела жидкостью, так как появление в системе поверхности (твердое тело—жидкость) вместо (твердое тело – газ) привело бы к увеличению свободной энергии системы. В этом случае капля жидкости в идеале должна принять сферическую форму и контактировать с твердой поверхностью только одной точкой, но в действительности на каплю жидкости действует сила тяжести, несколько сплющивая ее, поэтому форма капли лишь близка к сферической.

Лабораторная работа № 2

«Адсорбция уксусной кислоты углём»

Цель работы

Изучение адсорбции уксусной кислоты на активированном угле; определение констант в уравнении Фрейндлиха.

Описание работы

Для выполнения работы необходимы: растворы уксусной кислоты различных концентраций, титрант – 0,1Н раствор едкого натра, индикатор - фенолфталеин, конические колбы емкостью 250 мл.

Ход работы

1. В шести колбах готовят растворы уксусной кислоты различной концентрации путём разбавления в соответствии с таблицей 2.1.

Таблица 2.1

№ колбы	Концентрация кислоты, которую нужно приготовить, моль-экв/л	Количество уксусной кислоты, необходимое для разбавления, мл	Количество воды для разбавления кислоты, мл	Количество кислоты, отбираемое для титрования, мл
1	2	3	4	5
1	0,2 Н	125 мл 0,4 Н кислоты	125 мл воды	10 мл
2	0,1 Н (готовится из приготовленного 0,2 Н)	125 мл 0,2 Н кислоты	125 мл воды	25 мл
3	0,05 Н (готовится из приготовленного 0,1 Н)	125 мл 0,1 Н кислоты	125 мл воды	50 мл
4	0,025 Н (готовится из приготовленного 0,05 Н)	100 мл. 0,05 Н кислоты	100 мл воды	50 мл
5	0,012 Н	5,0 мл исходной 0,4 Н кислоты	145 мл воды	50 мл
6	В шестой колбе находится 0,4Н кислота в количестве 105 мл			5 мл

2. Для определения точной концентрации кислот, приготовленных путём разбавления из каждой колбы, включая и колбу №6, отбирают пипеткой то количество кислоты, которое указано в таблице (графа 5), и титруют 0,1 Н

раствором едкого натра до появления слабо-розового окрашивания. Индикатор - фенолфталеин.

3. В оставшийся объём кислоты, во все 6 колб вносят по 3 грамма активированного угля. Колбы периодически взбалтывают в течение получаса.

4. По истечении получаса, растворы кислот с углём отфильтровывают отдельно из каждой колбы. Первые несколько капель фильтрата отбрасывают.

5. Из каждого фильтрата отбирают пипеткой то же количество, как и при начальном титровании.

6. Определяют в них содержание уксусной кислоты путём титрования 0,1 Н раствором едкого натрия (NaOH 0,1 Н). Результаты записывают в таблицу 2.2.

Обработка результатов

Таблица 2.2

№ колбы	C ₀ , моль-экв/л	C, моль-экв/л	X, мл
1...			
...6			

$$X = (C - C_0) \cdot V, \quad (2.4)$$

где C₀ - начальная концентрация уксусной кислоты, моль-экв/л;

C - равновесная концентрация, моль-экв/л;

V – объём раствора, мл.

X - количество кислоты, адсорбированное навеской угля, мл.

Для вычисления нормальной концентрации раствора кислоты следует воспользоваться соотношением $N_1V_1 = N_2V_2$, т.е. произведение объёма на нормальность известного раствора равно произведению объёма на нормальность неизвестного раствора.

1. Адсорбция (Г) рассчитывается по формуле (2.1).

2. Построить следующие графики:

• $\Gamma = f(C)$

Размерность Г - (моль/г)

• $\lg \Gamma = f(\lg C)$

По полученным экспериментальным данным строят изотерму адсорбции, откладывая по оси ординат $\lg A$, а по оси абсцисс – $\lg C$. Эта изотерма описывается уравнением Фрейндлиха (2.3). Для нахождения констант β и $1/n$ уравнение Фрейндлиха логарифмируют (2.5):

$$\lg A = \lg \beta + \frac{1}{n} \cdot \lg c. \quad (2.5)$$

Зависимость $\lg \Gamma = f(\lg C)$ является прямолинейной. Отрезок, отсекаемый прямой на оси ординат, равен $\lg \beta$. Тангенс угла наклона прямой равен $1/n$.

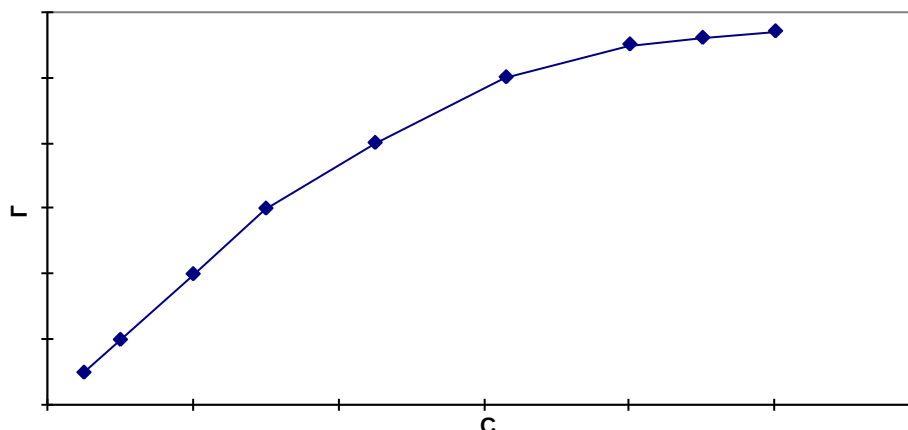


Рис. 2.1. Зависимость адсорбции от равновесной концентрации кислоты

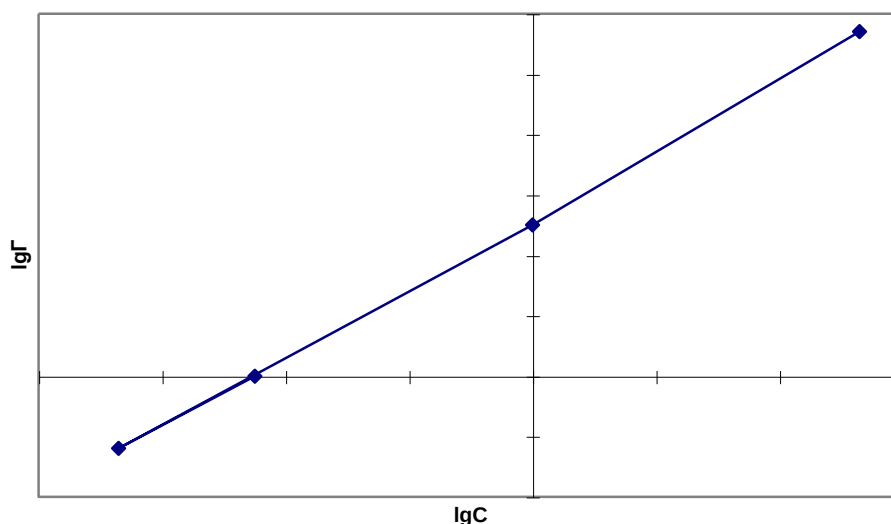


Рис. 2.2. Логарифмическая зависимость адсорбции от равновесной концентрации кислоты

Контрольные вопросы:

1. Дайте определение молекулярной адсорбции. Назовите факторы, от которых она зависит.
2. Перечислите особенности ионной адсорбции.
3. Сформулируйте определение ионообменной адсорбции. Перечислите ее особенности.
4. Что такое смачивание? Каким оно бывает?
5. Какие поверхности называются гидрофильными и гидрофобными?
6. Объясните полученные результаты и сделайте выводы по работе.

3. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОЛЛОИДНЫХ СИСТЕМ

3.1. Электрокинетические явления в гидрофобных золях

Если заполнить среднюю часть U-образной трубки электролизера толченым кварцем (т. е. создать капиллярно-пористую перегородку) и подать на электроды постоянное внешнее напряжение (рис.3.1), то вода перемещается в сторону отрицательного электрода. При разности потенциалов на электродах, равной 100 В, разность уровней воды в коленах трубки составляет некоторую величину. Это явление называется *электроосмос*. Вода при контакте с кварцем приобретает положительный заряд.

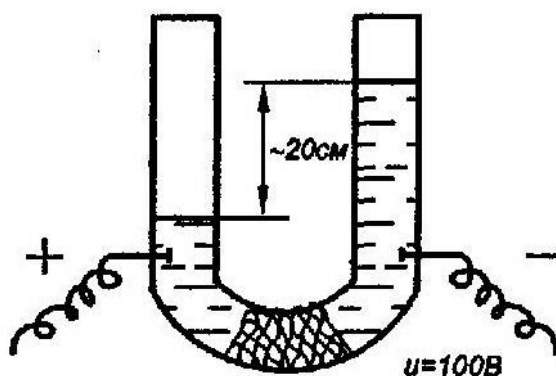


Рис. 3.1. U-образная трубка

Электроосмос — это явление переноса дисперсионной среды через неподвижную капиллярно-пористую перегородку под действием внешнего электрического поля.

Электроосмос является процессом несамопроизвольным, на его осуществление затрачивается электрическая работа.

Если в трубки ввести электроды и подать на них постоянное напряжение, то вода перемещается к отрицательному электроду (как в предыдущем опыте), и одновременно частицы кварца перемещаются к положительному электроду (вода в трубке с положительным электродом мутнеет, в то время как в другой трубке остается прозрачной). Это явление называется *электрофорез*.

Электрофорез—это явление переноса частиц дисперсной фазы под действием внешнего электрического поля.

Роль капиллярно-пористой перегородки играл кварц. Схема электрофореза представлена на рис.3.2.

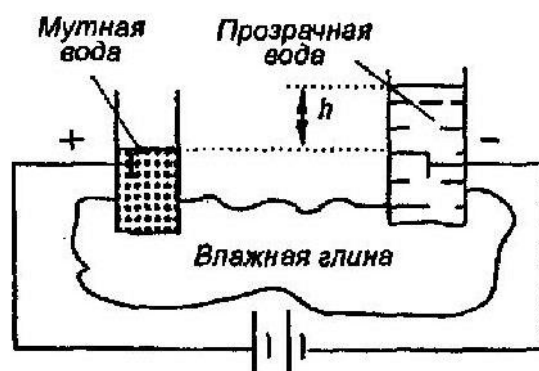


Рис.3.2. Схема электрофореза

Таким образом, при наличии капиллярно-пористой перегородки под действием постоянного электрического поля передвигается дисперсионная среда (электроосмос) или дисперсная фаза (электрофорез).

Явление, противоположное электроосмосу, называется *потенциалом течения*.

Потенциал течения — это явление возникновения разности потенциалов на электродах, расположенных по обеим сторонам неподвижной капиллярно-пористой перегородки при продавливании через нее жидкости.

Квинке наблюдал возникновение разности потенциалов при течении воды и водных растворов через разнообразные пористые материалы (кварц, глина, дерево, песок, графит и др.). Это явление характерно и для живых организмов. Например, при движении крови в артериях возникает небольшой потенциал течения ($-0,001—0,002\text{В}$), имеющий, однако, важное биологическое значение. Одна из волн, наблюдаемых на электрокардиограммах, обусловлена этим потенциалом.

В 1878 г. Дорн открыл явление, обратное электрофорезу, названное *потенциалом седиментации (осаждения)*.

Потенциал седиментации — это явление возникновения потенциалов на электродах, расположенных на разной высоте в сосуде, в котором происходит осаждение частиц дисперсной фазы.

Таким образом, разность потенциалов возникает в результате движения частиц дисперсной фазы относительно дисперсионной среды. Схематически возникновение потенциала течения и потенциала седиментации показано на рис. 3.3 и 3.4.

Возникновение потенциала протекания — разность потенциалов при протекании дисперсионной среды через поры твердого тела под влиянием приложенного давления.

Потенциал оседания — разность потенциалов при седиментации частиц дисперсной фазы в гравитационном поле.

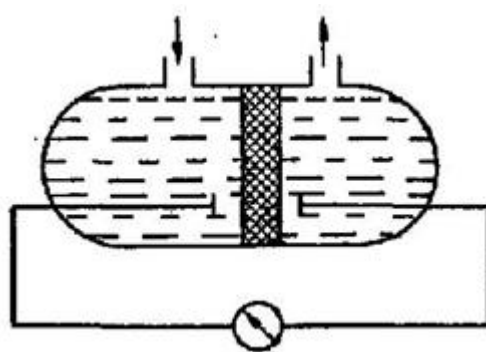


Рис. 3.3. Схема возникновения потенциала течения (эффект Квинке)

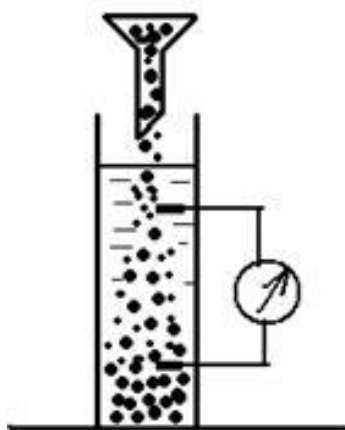


Рис.3.4. Схема возникновения потенциала седиментации (эффект Дорна)

Возникновение этих процессов определяется электрокинетическим потенциалом, или дзета-потенциалом (ξ -потенциал). Этот потенциал возникает на границе скольжения двух слоев противоположно заряженных ДЭС, находящихся в дисперсионной среде: адсорбционного и диффузного (рис.3.5).

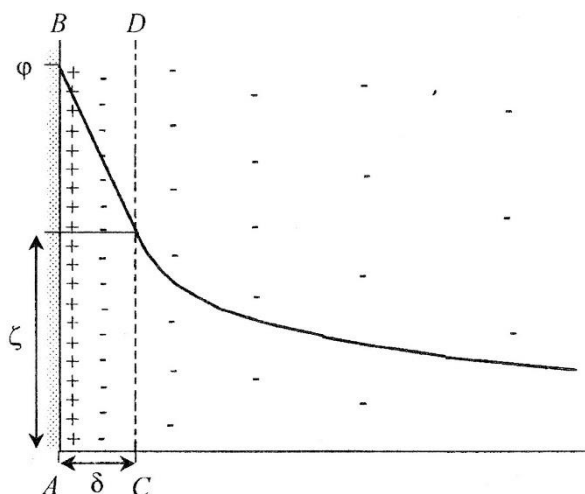


Рис.3.5. Строение двойного электрического слоя коллоидной системы

На границе раздела фаз (линия AB) располагаются адсорбированные частицей потенциалопределяющие ионы (ионы, непосредственно связанные с поверхностью и придающие ей заряд). На рис.3.5. они заряжены

положительно. На расстоянии, равном среднему ионному радиусу, расположен первый слой противоионов, в данном случае они имеют отрицательный заряд. Эти ионы входят в состав адсорбционного слоя частицы толщиной δ , который связан с частицей и перемещается вместе с ней. Линия CD является границей скольжения, отделяющей адсорбционный слой от диффузного, в котором в растворе диффузно распределен остаток общего заряда φ , падающего асимптотически до нуля по мере удаления в глубину раствора. Толщина диффузного слоя раствора зависит от концентрации электролитов в дисперсионной среде и может меняться в широких пределах. Как следует из рис.3.5, дзета-потенциал, обнаруживаемый на границе движения слоев в электрическом поле, меньше общего термодинамического потенциала φ и также зависит от толщины диффузного слоя.

Для определения дзета-потенциала измеряют скорость взаимного перемещения фаз при протекании электрокинетических явлений, таких как электрофорез или электроосмос.

Линейная скорость взаимного перемещения фаз в СИ вычисляется по формуле

$$v = \frac{D \cdot \varepsilon_0 \cdot \zeta}{\eta} \cdot \frac{E}{b}, \quad (3.1)$$

где D - диэлектрическая проницаемость;

ε_0 - электрическая константа, равная $8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м;

η - вязкость среды, Па·с;

E/b - напряженность электрического поля, или градиент потенциала, включает разность потенциалов электродов E и расстояние между ними b .

Рассмотренные явления — электроосмос, электрофорез, потенциал течения и потенциал седиментации - объединяют под общим названием *электрокинетические явления*, поскольку они связаны с электрическим полем и полем скоростей (кинетическим полем).

Причина электрокинетических явлений заключена в противоположности знаков зарядов твердой частицы и жидкой дисперсионной среды. С современной точки зрения на поверхности твердой фазы существует *двойной электрический слой (ДЭС)*.

ДЭС – пространственное разделение зарядов противоположного знака в межфазном слое.

3.2. Пути образования ДЭС

Возможны два принципиально разных пути образования ДЭС — избирательная адсорбция поверхностью твердой частицы ионов из дисперсионной среды и ионизация поверхностных молекул твердой частицы.

1. *Избирательная адсорбция*– процесс, основанный на неодинаковой способности отдельных компонентов газовой или жидкой смеси поглощаться из данного растворителя данным адсорбентом.

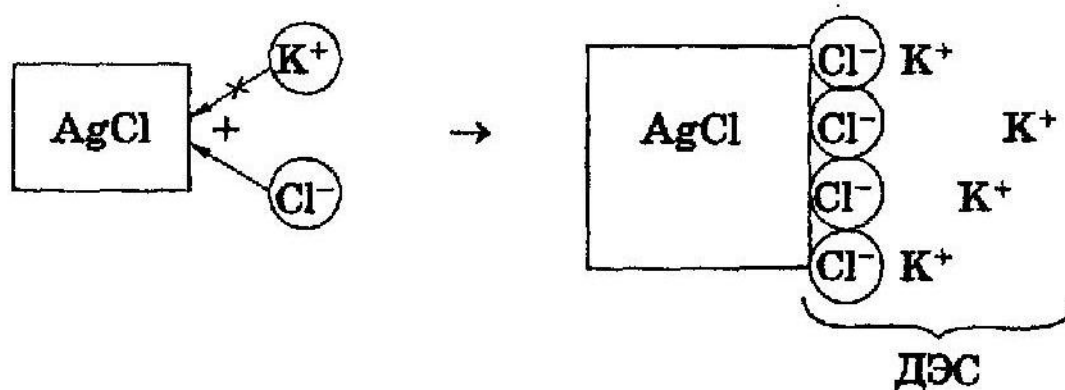
Здесь возможны два случая.

а) Избирательная адсорбция ионов, способных достраивать кристаллическую решетку частицы дисперсной фазы.

Правило Панета-Фаянса: на поверхности кристаллов избирательно сорбируются ионы, способные достраивать кристаллическую решетку.

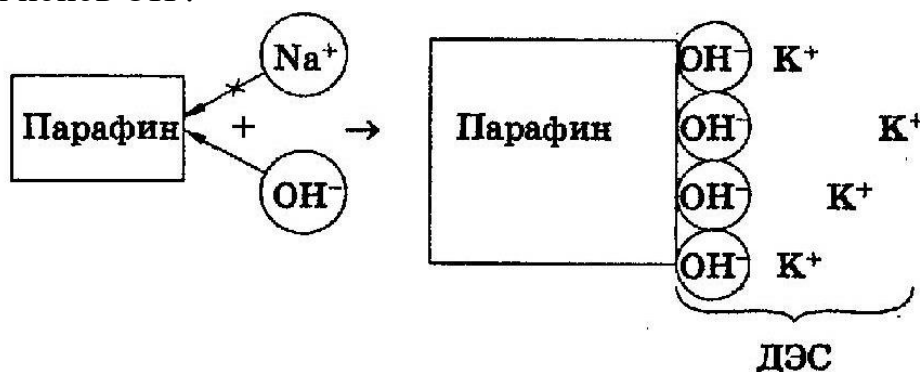
В соответствии с этим правилом, на поверхности твердой частицы избирательно адсорбируются только те ионы, которые способны достроить ее кристаллическую решетку или изоморфны с ней.

Предположим, что твердые частицы хлорида серебра диспергированы (тонко измельчены) в водном растворе хлорида калия:



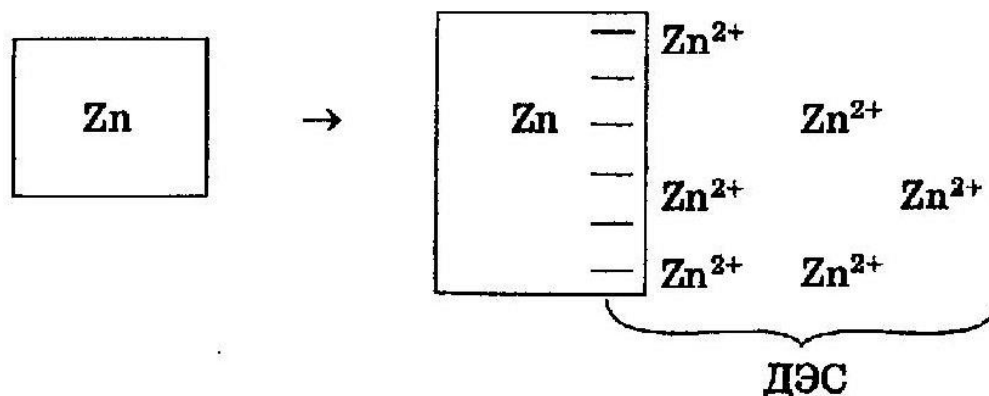
В данном случае на поверхности будут сорбироваться ионы Cl^- , так как они входят в состав кристаллической решетки и будут придавать частице отрицательный заряд, одновременно прилегающая к частице жидкая среда приобретает положительный заряд, т. е. возникает ДЭС. Ионы, которые придают заряд твердой частице, называются *потенциалопределяющими*, противоположно заряженные — *противоионами*.

б) Избирательная адсорбция без достройки кристаллической решетки. Этот случай имеет место, когда в растворе имеются ионы, обладающие большой адсорбционной способностью - H^+ или OH^- . Примером может служить возникновение ДЭС на границе: «частицы твердого парафина-водный раствор щелочи». ДЭС образуется в результате избирательной адсорбции ионов OH^- :



2. *Ионизация поверхностных молекул твердой частицы.* Здесь также возможны два случая.

а) В случае гидрозолей металлов в раствор переходят катионы металлов, твердая поверхность заряжается отрицательно, а дисперсионная среда положительно (подобно тому, как это происходит при возникновении электродного потенциала). Например:



б) В случае некоторых оксидов, кислот, белков и т. д. с твердой поверхности в дисперсионную среду переходят ионы одного заряда, ионы с противоположным зарядом остаются на твердой частице и являются потенциалопределяющими.

Твердая частица и дисперсионная среда при этом приобретают заряд определенного знака. Поэтому при соприкосновении воды с толченым кварцем дисперсионная среда заряжается положительно и перемещается к отрицательному электроду.

Аналогичная картина наблюдается при помещении стекла в водный раствор, так как основу стекла составляют силикаты.

Лабораторная работа № 3

«Измерение электрокинетического ξ - потенциала и определение знака заряда коллоидных частиц методом электрофореза»

Цель работы

Определение знака заряда коллоидных частиц и величины электрокинетического потенциала.

Описание работы

С помощью электрофореза можно определить знак заряда частиц дисперсной фазы. Измерив линейную скорость перемещения границы раздела золь– чистая дисперсионная среда, можно приближённо вычислить потенциал на поверхности скольжения ξ - потенциала.

Для определения этих величин (знака заряда и ξ - потенциала) применяют прибор, представляющий собой U - образную трубку, к нижней части которой припаяна узкая стеклянная трубочка с воронкой и краном.

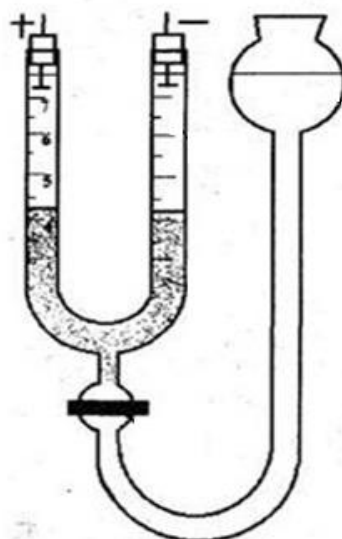


Рис.3.6. Схема U-образной трубки для определения ξ - потенциала

Ход работы

1. Готовят раствор для электрофореза. К 20 мл раствора золя берлинской лазури приливают раствор 4г сахарозы в 20 мл дистиллированной воды.

2. Полученным раствором заполняют воронку и узкую стеклянную трубочку прибора до крана, а в U-образную трубку наливают 10 мл дистиллированной воды. (При заполнении прибора надо следить за тем, чтобы в нём не осталось пузырьков воздуха, которые следует убрать проволокой).

3. Открывают кран, **медленно** вводят коллоидный раствор в U - образную трубку до нулевой отметки на шкале линейки, прикреплённой за U - образной трубкой. Введение коллоидного раствора следует производить с особой тщательностью, так, чтобы в U- образной трубке получилась резкая граница между золем и водой.

4. Закрывают кран. В U - образную трубку помещают электроды, соединённые с источником постоянного тока. Подают на электроды ток, включая одновременно секундомер.

5. По истечении примерно 10 минут отмечают путь, пройденный золем в U - образной трубке (в правом или левом колене). Отмечают знак заряда золя.

Обработка результатов

1. Результаты наблюдений заносят в таблицу 3.1.

Таблица 3.1

Время τ , сек	Пройденный путь h , см	Напряжение, E , В	Знак золя (+/-)	Величина ξ -потенциала, мВ

2. Расчёт ξ - потенциала проводят по формуле 3.1.

Контрольные вопросы

1. Каково строение ДЭС?
2. Какие пути образования ДЭС вы знаете?
3. Какие электрокинетические явления вы знаете? В чем сущность каждого из них?
4. Перечислите экспериментальные методы определения дзета-потенциала.
5. Объясните полученные результаты и сделайте выводы по работе.

4. ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОЛЛОИДНЫХ СИСТЕМ

Когда на дисперсную систему падает свет, мы можем наблюдать ряд явлений:

- прохождение света через систему (наблюдается для прозрачных систем, в которых частицы дисперсной фазы гораздо меньше длины волны падающего света);
- преломление света частицами дисперсной фазы, если они прозрачны;
- отражение света частицами дисперсной фазы, если они непрозрачны (преломление и отражение света наблюдаются для систем, в которых размеры частиц дисперсной фазы значительно больше длины волны падающего света);
- рассеяние света (для систем, в которых размер частицы дисперсной фазы меньше, но соизмерим с длиной волны падающего света);
- абсорбция (поглощение) света частицами дисперсной фазы, при этом световая энергия превращается в тепловую.

Характер этих явлений зависит от размеров частиц дисперсной фазы и от их соотношения с длиной волны падающего света.

Наиболее характерное наблюдаемое явление в коллоидных растворах – это *светорассеяние (опалесценция)*.

4.1. Рассеяние света

В 1869 г. Тиндаль обнаружил образование светящегося конуса при пропускании пучка света через коллоидный раствор (так называемый «*конус Тиндаля*»). Неколлоидные (истинные) растворы такого свечения не дают, так как являются оптически пустыми системами.

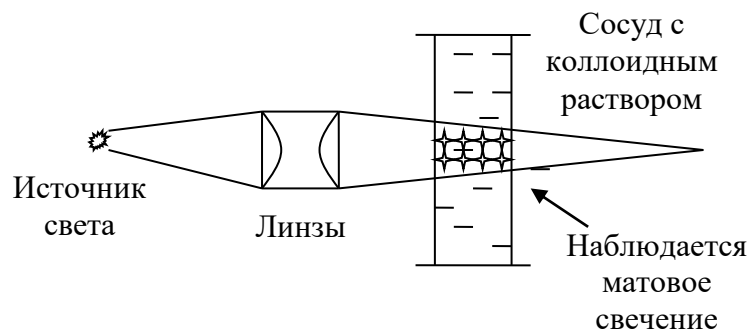


Рис. 4.1. Конус Тиндаля

Это явление было названо *опалесценцией* – матовое свечение, чаще всего голубоватого оттенка. Оно используется для идентификации коллоидных систем.

На основе изучения электромагнитных свойств падающего света можно сделать ряд наблюдений:

- если дисперсионная среда однородна, то излучаемый свет распространяется в одном направлении;
- если дисперсионная среда имеет неоднородности, связанные с другими показателями преломления (например, коллоидными частицами), то излучаемый свет распространяется в различных направлениях, причем интенсивность рассеянного света различна, но длина волны падающего и рассеянного света одинакова.

Рэлей вывел уравнение (4.1.), которое связывает интенсивность рассеянного света I и падающего света I_0 и является справедливым при следующих условиях:

- частицы дисперсной фазы имеют сферическую форму;
- частицы дисперсной фазы являются неметаллическими, т.е. не проводят электрический ток;
- частицы являются бесцветными, т.е. не поглощают свет;
- коллоидный раствор разбавляют так, чтобы расстояние между частицами было больше длины волны падающего света.

$$I = I_0 \cdot \frac{24\pi^3 V^2 v}{\lambda^4} \left(\frac{n_1^2 - n_0^2}{n_1^2 + 2n_0^2} \right)^2 \cdot (1 + \cos^2 \theta), \quad (4.1.)$$

где I и I_0 – интенсивность рассеянного и падающего света соответственно, Вт/м²;

V – объем одной частицы, м³;

v – частичная концентрация, м⁻³;

λ – длина волны, нм;

n_1 – показатель преломления частицы дисперсной фазы;

n_0 – показатель преломления дисперсионной среды;

θ – угол падения света.

При рассмотрении зависимости интенсивности падающего света I от различных параметров можно вывести несколько закономерностей:

1. Интенсивность рассеянного света тем больше, чем больше различаются показатели преломления частицы дисперсной фазы и дисперсионной среды ($n_1 - n_0$). Следовательно, если показатели преломления частиц дисперсной фазы и дисперсионной среды равны, то в неоднородной среде светорассеяние будет отсутствовать.

2. Интенсивность рассеянного света тем больше, чем больше частичная концентрация V . Если подставить в уравнение Рэлея вместо частичной концентрации V массовую $c = \nu \cdot V \cdot \rho$, получим:

$$I = I_0 \cdot K \cdot \frac{c \cdot V}{\rho \cdot \lambda^4}, \quad (4.2.)$$

где $K = 24\pi^3 \left(\frac{n_1^2 - n_0^2}{n_1^2 + 2n_0^2} \right)^2$ - оптическая постоянная.

Таким образом, интенсивность рассеянного света пропорциональна объему частицы.

Зависимость (4.2.) справедлива только в области малых размеров частиц. Если частицы больших размеров, то уменьшается степень, в которую возведена длина волны.

3. Интенсивность рассеянного света для коллоидных систем обратно пропорциональна длине волны в четвертой степени. При прохождении через коллоидный раствор пучка белого света рассеиваются короткие волны (синей и фиолетовой частей спектра). Следовательно, бесцветный золь в рассеянном свете имеет голубоватую окраску, а в проходящем – красноватую.

4.2. Поглощение света и окраска золь

Уравнение Рэлея было выведено для неокрашенных растворов, т.е. не поглощающих свет. Но многие коллоидные растворы имеют определенную окраску, т.е. поглощают свет в соответствующей области спектра. Оптические свойства окрашенных коллоидных растворов можно охарактеризовать по изменению интенсивности света при прохождении через систему, для чего используют закон Бугера-Ламберта-Бера:

$$I_{np} = I_0 \cdot e^{-klc}, \quad (4.3.)$$

где I_0 – интенсивность падающего света, Вт/м²;

I_{np} – интенсивность прошедшего через золь света, Вт/м²;

k – коэффициент поглощения;

l – толщина слоя золя, мм;

c – концентрация золя, г/дм³.

Прологарифмировав (4.3.), получаем:

$$\ln \frac{I_0}{I} = -klc \quad (4.4.)$$

Величину $\ln \frac{I_0}{I}$ называют оптической плотностью D_λ . При работе с монохроматическим светом всегда указывают, при какой длине волны было определена оптическая плотность.

При изменении размеров частиц золей металлов изменяется длина волны поглощаемого света. С увеличением дисперсности золей изменяется и интенсивность их окраски.

4.3. Оптические методы исследования коллоидных растворов

В настоящее время самыми распространенными методами определения размеров, формы, структуры коллоидных частиц являются оптические. Это объясняется не только быстротой и удобством этих методов, но и точностью получаемых результатов.

1. *Ультрамикроскопия.* Для наблюдения коллоидных частиц обычные микроскопы не подходят. Был создан специальный метод исследования – ультрамикроскопия. В ультрамикроскопе коллоидные растворы освещаются сбоку (боковое освещение) и наблюдаются в виде светящихся точек на темном фоне.

2. *Электронная микроскопия.* Этот метод основан на том, что используют пучки света длиной всего 0,002-0,005нм, что резко увеличивает разрешающую способность микроскопа и дает возможность фотографировать частицы дисперсной фазы коллоидных растворов.

3. *Нефелометрия.* Это физико-химический метод анализа, основанный на измерении интенсивности света и способности коллоидных систем рассеивать свет.

4. *Турбидиметрия.* Это метод исследования, основанный на измерении ослабления проходящего через коллоидную систему света в результате светорассеяния. Измерения проводят с помощью колориметров или спектрофотометров, с помощью которых определяют мутность раствора. Чем больше рассеяние, тем выше мутность и тем меньше интенсивность прошедшего через раствор света.

Лабораторная работа № 4

«Определение размеров частиц полистирольного латекса»

Цель работы

Определение размеров частиц полистирольного латекса.

Описание работы

Образование эффекта (конуса) Тиндаля свойственно коллоидным растворам. Молекулярные и ионные растворы эффекта Тиндаля не образуют.

В связи с этим данный эффект используется с аналитической целью, т.е. с целью установить, принадлежит ли данный раствор к классу истинных растворов или коллоидных.

Ход работы

1. Прежде чем производить измерения, требуется откалибровать мутномер. Для этого нужно установить определенную длину волны (500, 540, 560, 620 нм), в кювету налить дистиллированную воду и установить стрелку прибора в положение 100 делений на шкале прибора, что соответствует 100% светопропускания. Кювету всегда следует ставить в одно и то же положение.

2. Готовят разбавленный раствор латекса и измеряют его светопропускание при одной из длин волн.

3. Затем меняют длину волны и повторно калибруют прибор. Измеряют светопропускание приготовленного раствора латекса при этой длине волны. И так далее с каждой длиной волны по три раза (высчитывают среднее значение).

Обработка результатов

1. По найденным значениям шкалы прибора по калибровочной прямой определяют светопропускание τ' и результаты наблюдений записывают в таблицу 4.1.

2. По найденным значениям τ' (в долях) рассчитывают оптическую плотность растворов D:

$$D = -\lg \tau'$$

Таблица 4.1.

Длина волны	Показание прибора (ср.)	Светопропускание	Оптическая плотность	Мутность раствора	$\lg \lambda_{\text{вак}}$	$\lg \tau$
$\lambda_{\text{вак}}$, нм	N, дел.	τ'	D	τ		
500						
540						
560						
620						

4. Вычисляют мутность исследуемых растворов:

$$\tau = 2,3 \cdot D/l,$$

где l – длина кюветы, см.

5. Далее находят значения $\lg \lambda_{\text{вак}}$ и $\lg \tau$ и строят график $\lg \tau = f(\lg \lambda_{\text{вак}})$.

Контрольные вопросы:

1. Какие оптические явления наблюдаются при падении света на дисперсные системы?
2. При каких условиях справедливо уравнение Рэлея?
3. Какие оптические методы используются для определения размеров частиц дисперсной фазы?
4. От каких факторов зависит поглощение света окрашенными растворами?
5. Объясните полученные результаты и сделайте выводы по работе.

5. УСТОЙЧИВОСТЬ КОЛЛОИДНЫХ СИСТЕМ И ИХ КОАГУЛЯЦИЯ

Частицы дисперсной фазы в гравитационном поле оседают, если их плотность ρ больше плотности дисперсионной среды ρ_0 , или всплывают, если их плотность меньше плотности дисперсионной среды. Под действием силы гравитационного поля частицы дисперсной фазы оседают (седиментируют) или всплывают с учетом выталкивающей силы по закону Архимеда.

В реальных полидисперсных системах более крупные частицы оседают быстрее, более мелкие – отстают, и поэтому четкая граница раздела фаз отсутствует. В этом случае задачей седиментационного анализа является определение относительного содержания отдельных фракций системы, для чего определяют массу оседающих частиц за определенные отрезки времени с последующей обработкой экспериментальных данных графическим или аналитическим методами.

По мере роста степени дисперсности скорость оседания частиц в гравитационном поле резко уменьшается, и для коллоидных частиц размером 10^{-5} - 10^{-7} см срок оседания составляет месяцы и годы. Процесс оседания частиц дисперсной фазы в этих системах компенсируется их встречной диффузией при возникновении градиента концентраций и броуновским движением, в результате чего в системе устанавливается *седиментационно-диффузионное равновесие*, при котором частицы удерживаются во взвешенном состоянии. Это означает, что коллоидно-дисперсные системы являются *кинетически (седиментационно) устойчивыми*.

Образование дисперсных систем сопровождается увеличением свободной энергии системы. Следовательно, дисперсная система является принципиально *термодинамически неустойчивой*, т. е. рано или поздно она должна самопроизвольно разрушиться. Поэтому речь может идти только об *относительной термодинамической устойчивости* дисперсных систем.

Относительная устойчивость — это способность системы в течение определенного времени сохранять неизменной свою структуру, т. е. размеры частиц и их равномерное распределение в объеме системы.

Существует два вида *относительной* устойчивости дисперсных систем: *седиментационная* и *агрегативная*.

5.1. Седиментационная устойчивость

Седиментационная устойчивость — способность системы противостоять действию силы тяжести. Действию силы тяжести противостоит диффузия. Соотношение этих факторов, т. е. седиментационная устойчивость, определяется, главным образом, размерами частиц дисперсной фазы и дисперсионной среды. В лиофобных золях размеры частиц малы (10^{-7} - 10^{-9} м), и диффузия обеспечивает равномерное распределение частиц в объеме системы, сохраняя их седиментационную устойчивость.

Седиментационная устойчивость дисперсных систем определяется, главным образом, размерами частиц дисперсной фазы:

- лиофобные золи (10^{-9} - 10^{-7} м) — седиментационно устойчивые системы, для них характерна диффузия, обеспечивающая равномерное распределение частиц по объему системы;
- микрогетерогенные системы (10^{-7} - 10^{-5} м) — устанавливается седиментационно-диффузионное равновесие, для которого характерно гипсометрическое распределение частиц по объему системы;
- грубодисперсные (более 10^{-5} м) — седиментационно неустойчивые системы, в которых происходит быстрая седиментация.

5.2. Агрегативная устойчивость

Агрегативная устойчивость — это способность дисперсной системы сохранять неизменной во времени степень дисперсности, т. е. размеры частиц и их индивидуальность.

При нарушении агрегативной устойчивости происходит коагуляция.

Коагуляцией называется процесс слипания частиц с образованием крупных агрегатов. В результате коагуляции система теряет свою седиментационную устойчивость, так как частицы становятся слишком крупными и не могут участвовать в броуновском движении.

Коагуляция является самопроизвольным процессом, так как она приводит к уменьшению межфазной поверхности и, следовательно, к уменьшению свободной поверхностной энергии.

Различают две стадии коагуляции.

1-я стадия — *скрытая коагуляция*. На этой стадии частицы укрупняются, но еще не теряют своей седиментационной устойчивости.

2-я стадия — *явная коагуляция*. На этой стадии частицы теряют свою седиментационную устойчивость. Если плотность частиц больше плотности дисперсионной среды, образуется осадок.

Причины коагуляции многообразны. Едва ли существует какое-либо внешнее воздействие, которое при достаточной интенсивности не вызывало бы коагуляцию. К внешним воздействиям относятся:

- изменение температуры;
- действие электрического и электромагнитного полей;

- действие видимого света;
- облучение элементарными частицами;
- механическое воздействие;
- добавление электролитов и др.

5.3. Правила коагуляции

1. Все сильные электролиты, добавленные к золю в достаточном количестве, вызывают его коагуляцию.

Минимальная концентрация электролита, при которой начинается коагуляция, называется *порогом коагуляции* S_k .

Иногда вместо порога коагуляции используют величину V_k , называемую *коагулирующей способностью*. Это объем золя, который коагулирует под действием 1 моля электролита:

Существуют пять факторов, которые могут обеспечивать агрегативную устойчивость золя:

- электростатический;
- адсорбционно-сольватный;
- структурно-механический;
- энтропийный;
- гидродинамический.

Наиболее важным для гидрофобных зольей является электростатический фактор устойчивости, обусловленный наличием на поверхности коллоидных частиц ДЭС и электрокинетического потенциала. Снижение величины дзета-потенциала приводит к началу коагуляции. Это достигается введением в золь любого сильного электролита. Коагулирующим действием обладает ион, заряд которого по знаку совпадает с зарядом противоиона в ДЭС. Коагулирующее действие иона тем больше, чем больше его заряд (правило Шульце-Гарди) и больше кристаллический радиус.

При действии на золь электролитами может возникать *концентрационная* или *нейтрализационная коагуляция*.

Значит, чем меньше порог коагуляции, тем больше коагулирующая способность электролита.

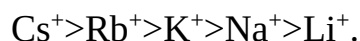
2. Коагулирующим действием обладает не весь электролит, а только тот ион, заряд которого совпадает по знаку с зарядом противоиона мицеллы лиофобного золя. Этот ион называют *ионом-коагулянтом*.

3. Коагулирующая способность иона-коагулянта тем больше, чем больше заряд иона.

Количественно эта закономерность описывается эмпирическим *правилом Шульце-Гарди*.

4. Коагулирующая способность иона при одинаковом заряде тем больше, чем больше его кристаллический радиус.

Для однозарядных неорганических катионов в водных растворах коагулирующая способность убывает в следующем порядке:



Этот ряд называется *лиотропным* и как правило обусловлен размером гидратированного иона. Для однозарядных неорганических катионов в расплавах коагулирующая способность убывает в обратном порядке.

5.4. Кинетика коагуляции электролитами

В качестве количественной характеристики коагуляции Зигмонди предложил использовать *скорость коагуляции*.

Скорость коагуляции ν — это изменение концентрации коллоидных частиц в единицу времени при постоянном объеме системы.

$$\nu = - \left(\frac{d\nu}{dt} \right), \quad (5.1)$$

где ν — концентрация частиц, г/дм³;

t — время, с.

Знак «минус» стоит потому, что концентрация частиц со временем уменьшается, а скорость всегда положительна.

Степень коагуляции α :

$$\alpha = \frac{Z_{\text{эф}}}{Z}, \quad (5.2)$$

где Z — общее число столкновений частиц в единицу времени, с⁻¹;

$Z_{\text{эф}}$ — число эффективных столкновений (т. е. столкновений, приводящих к коагуляции) в единицу времени, с⁻¹.

Если $\alpha = 0$, коагуляция не происходит, коллоидный раствор агрегативно устойчив.

Если $\alpha = 1$, происходит быстрая коагуляция, т. е. каждое столкновение частиц приводит к их слипанию.

Если $0 < \alpha < 1$, наблюдается медленная коагуляция, т. е. только некоторые столкновения частиц приводят к их слипанию.

5.5. Защита коллоидных систем

Коллоидной защитой называется повышение агрегативной устойчивости золя путем введения в него высокомолекулярного соединения (ВМС).

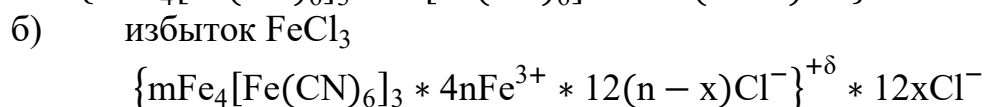
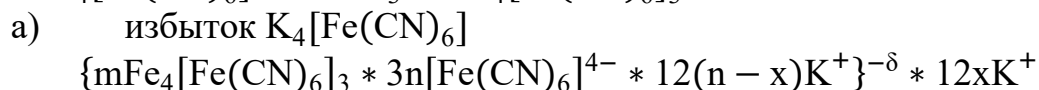
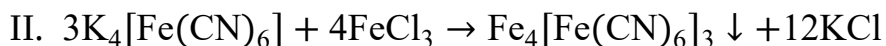
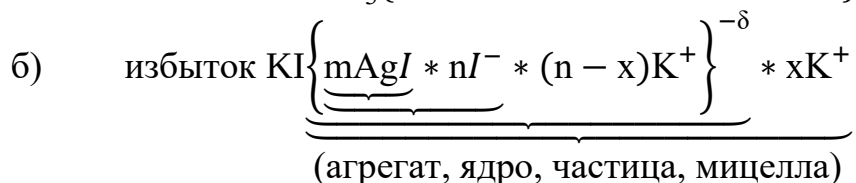
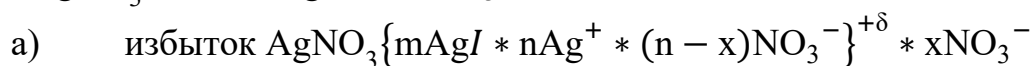
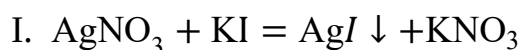
Для гидрофобных золь в водной среде в качестве стабилизаторов обычно используются белки, углеводы, пектины; для неводных золь — каучуки.

Защитное действие ВМС связано с образованием на поверхности коллоидных частиц определенного адсорбционного слоя. Коагуляцию золей можно осуществить только веществами, осаждающими ВМС (защитное вещество).

5.6. Строение мицелл коллоидных систем

Ядро коллоидной частицы прежде всего адсорбирует ионы одного знака из жидкости. Значит, в дисперсионной среде всегда находится электролит или ионогенный комплекс. Ядро частицы с потенциалобразующими ионами и частично противоионами образует коллоидную частицу. Далее расположены диффузно противоионы, называемые диффузным слоем. Коллоидная частица с ионами диффузного слоя - называется коллоидной мицеллой.

Рассмотрим строение мицелл простейших коллоидных систем.



Согласно правилу Фаянса потенциалобразующими могут быть лишь те ионы, которые входят уже в состав агрегата. Заряд частицы определяется зарядом потенциалобразующих ионов.

5.7. Методы получения лиофобных золей

Общие условия получения лиофобных золей — нерастворимость или очень малая растворимость вещества дисперсной фазы в дисперсионной среде и наличие в среде веществ, которые способны стабилизировать частицы дисперсной фазы — *стабилизаторов*.

Получить коллоидные растворы можно измельчением крупных частиц до коллоидных размеров (диспергационные методы) и укрупнением молекул и ионов (конденсационные методы).

Диспергационные методы

Это способы получения лиофобных золей путем дробления крупных кусков до агрегатов коллоидных размеров.

Существенные черты диспергационных методов:

1. Измельчение производится в инертной среде.
2. Диспергирование является несамопроизвольным процессом. Образование дополнительной межфазной поверхности связано с накоплением дополнительной свободной поверхностной энергии и происходит за счет совершения внешней работы.

В зависимости от вида внешней работы, которая совершается над грубодисперсной системой, можно выделить механическое, ультразвуковое и электрическое диспергирование.

Механическое диспергирование грубодисперсных систем осуществляется путем раздробления, удара, истирания, расщепления.

Диспергирование ультразвуком происходит за счет разрывающих усилий.

Электрическое диспергирование. Этим методом получают коллоидные растворы металлов путем распыления в вольтовой дуге электродов из металла, погруженных в воду.

Конденсационные методы

Это способы получения коллоидных растворов путем объединения (конденсации) молекул и ионов в агрегаты коллоидных размеров. Система из гомогенной превращается в гетерогенную, т. е. возникает новая фаза (дисперсная фаза). Обязательным условием является *пересыщенность* исходной системы.

Конденсационные методы классифицируют по природе сил, вызывающих конденсацию, на физическую конденсацию и химическую конденсацию.

Физическая конденсация. Первоначально вещество находится в виде молекул или ионов. Необходимо создать условия, при которых оно будет конденсироваться, образуя дисперсную фазу, причем конденсация должна прекратиться, когда частицы достигнут коллоидных размеров. Физическая конденсация может осуществляться из паров или путем замены растворителя.

Конденсация из паров. Исходное вещество находится в паре. При понижении температуры пар становится пересыщенным и частично конденсируется, образуя дисперсную фазу. Таким путем получают гидрозоли ртути и некоторых других металлов.

Метод замены растворителя. Метод основан на изменении состава и свойств дисперсионной среды. Если, например, спиртовой раствор серы, фосфора или канифоли влить в воду, вследствие понижения растворимости вещества в новом растворителе раствор становится пересыщенным и часть вещества конденсируется, образуя частицы дисперсной фазы.

Химическая конденсация. В этих случаях вещество, образующее дисперсную фазу, получается в результате химической реакции. Чтобы в ходе реакции образовался коллоидный раствор, а не истинный раствор или осадок, необходимо соблюдение по крайней мере трех условий:

1) чтобы вещество дисперсной фазы было нерастворимо в дисперсионной среде;

2) чтобы скорость образования зародышей кристаллов дисперсной фазы была гораздо больше, чем скорость роста кристаллов, – это условие выполняется обычно тогда, когда концентрированный раствор одного компонента вливается в сильно разбавленный раствор другого компонента при интенсивном перемешивании;

3) чтобы одно из исходных веществ было взято в избытке, – именно его избыток обеспечивает возникновение ДЭС и знак заряда коллоидной частицы.

Пептизация

Измельченный материал (сажа, графит, глина) или промытый осадок вещества, полученный в результате химической реакции осаждения, промывают небольшим количеством раствора пептизатора, в результате образуется высокодисперсная система. Пептизировать можно далеко не все осадки: плотные, тяжелые осадки не поддаются пептизации, наоборот, рыхлые, студенистые осадки, особенно свежеприготовленные, легко пептизируются.

Формально пептизацию можно отнести к методам диспергирования, но это неправильно. *Пептизуемый осадок* – это уже диспергированный материал, доведенный до коллоидной степени измельчения, в котором частицы в результате слипания образовали крупные агрегаты. Пептизация — это нарушение связей между слипшимися частицами. Чем слабее эти связи, тем легче происходит пептизация.

5.8. Методы очистки коллоидных растворов

Полученные тем или иным способом коллоидные растворы обычно очищают от низкомолекулярных примесей (молекул и ионов). Удаление этих примесей осуществляется методами диализа, электродиализа, ультрафильтрации.

Диализ

Коллоидный раствор, подлежащий очистке, наливают в сосуд, который отделен *полупроницаемой мембраной* от другого сосуда с чистой дисперсионной средой. В качестве полупроницаемой (т. е. проницаемой для молекул и ионов, но непроницаемой для частиц дисперсной фазы) мембраны применяют пергамент, целлофан, коллодий, керамические фильтры и другие тонкопористые материалы. В результате диффузии низкомолекулярные примеси переходят во внешний раствор.

Электродиализ

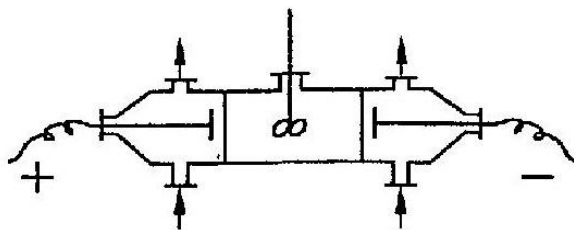


Рис. 5.1. Схема электродиализатора

Электродиализ обусловлен миграцией ионов через мембрану под действием приложенной разности потенциалов. Предложено много конструкций электродиализаторов. Схема относительно простого электродиализатора, применявшегося Паули, приведена на рис. 6.1.

Диализатор состоит из трех стеклянных камер, разделенных полупроницаемыми перегородками. В боковых камерах установлены электроды, на которые от внешнего источника постоянного тока подается разность потенциалов. В боковых камерах находится дистиллированная вода, которая непрерывно сменяется. Очищаемый золь, находящийся в средней камере, перемешивается мешалкой.

Ультрафильтрация

Ультрафильтрацией называется диализ, проводимый под давлением во внутренней камере. По существу, ультрафильтрация является не методом очистки зольей, а лишь методом их концентрирования.

Применяя для ультрафильтров мембраны с определенной пористостью, можно в известной мере разделить по размерам коллоидные частицы и одновременно приближенно определить их размеры. Этим способом были определены размеры частиц ряда вирусов и бактериофагов.

Обратный осмос

При фильтрации растворов под давлением через мембраны с еще более тонкими порами, например ацетатцеллюлозные ($r \approx 10^{-9}$ м), происходит задержка не только дисперсных частиц, но и молекул и ионов в растворах электролитов. Этот процесс, называемый *гиперфильтрацией* или *обратным осмосом*, широко применяется в настоящее время для очистки природных и технических вод.

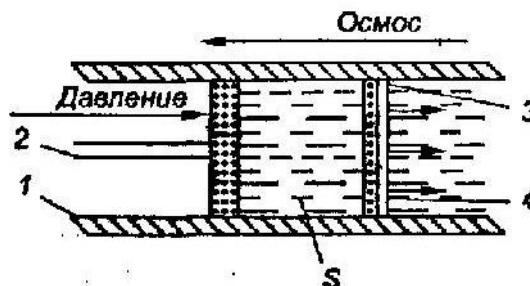


Рис 5.2. Принцип обратного осмоса

В цилиндре 1 под поршнем 2 находится очищаемый раствор, который с помощью полупроницаемой мембраны 3 отделен от чистой воды 4. При отсутствии внешнего давления происходил бы обычный осмос - чистая вода проникала бы через мембрану в неочищенный раствор. Если внешнее давление на поршень больше осмотического, происходит *обратный осмос* — переход воды из очищаемого раствора в чистую воду. Растворенные примеси концентрируются в пространстве 5.

Лабораторная работа № 5 **«Определение порога коагуляции»**

Цель работы

Определение порога коагуляции золя гидроксида железа (III) электролитами.

Описание работы

Для проведения работы необходимы:

мутномер М – 101;

колба емкостью 50 мл;

раствор электролита (0,05М сульфат калия);

золь гидроксида железа (III).

Ход работы

1. Исходный электролит (K_2SO_4) разбавляют водой 1:6. Полученным раствором заполняют бюретку, закрепленную в штативе, предварительно промытую дистиллированной водой.

2. Прежде чем производить измерения, требуется откалибровать мутномер. Для этого надо в кювету на 15 мл налить дистиллированную воду и установить стрелку прибора в положение 100 μA , что соответствует 100% светопропускания. Кювету всегда следует ставить в одно и то же положение.

3. В коническую колбу объемом 50 мл наливают 14 мл золя гидроксида железа (III). Содержимое колбы выливают в кювету и измеряют светопропускание чистого золя.

4. Содержимое кюветы выливают в колбу, добавляют 1 мл электролита из бюретки, хорошо перемешивают и заливают в кювету. Измеряют светопропускание раствора, последовательно добавляя по 1 мл раствора электролита. (Снять минимум 10 показаний).

Обработка результатов

По найденным значениям шкалы прибора по калибровочной прямой определяют светопропускание τ' и результаты наблюдений записывают в табл. 5.1. По данным табл. 5.1 строят графики $\tau=f(V)$ и $\tau=f(C)$. Порог коагуляции соответствует той концентрации электролита, при которой происходит резкое уменьшение мутности раствора.

Таблица 5.1

№ п/ п	Количество электролита	Показание прибора	Светопр пускание	Оптическая плотность	Мутность раствора	Концен трация
	V, мл	I, μ A	τ'	D	τ	C, моль/л
1						
...						
11						

Контрольные вопросы:

1. Дайте определение видов относительной устойчивости.
2. Дайте определение коагуляции. Перечислите ее стадии.
3. Назовите правила коагуляции.
4. При помощи каких методов получают коллоидные растворы?
5. При помощи каких методов очищают коллоидные растворы?
6. Объясните полученные результаты и сделайте выводы по работе.

6. НАБУХАНИЕ ВМС

Процесс набухания – поглощение низкомолекулярного вещества полимером, которая может сопровождаться увеличением его массы, объема или длины и, связанные с этим, изменения структуры.

При набухании молекулы низкомолекулярной жидкости проникают между элементами структуры полимера, вызывая *межмолекулярное набухание*, или внутрь структур, раздвигая макромолекулы, вызывая *внутримолекулярное набухание*.

Различают ограниченное и неограниченное набухание.

1. *Неограниченное набухание* – это набухание, самопроизвольно переходящее в растворение. Этот процесс аналогичен неограниченному смешению жидкостей.

2. *Ограниченное набухание* – процесс взаимодействия полимеров с НМ жидкостями, ограниченный только стадией их поглощения полимером. Здесь самопроизвольного растворения полимера не происходит, образуются две соответствующие фазы: первая представляет собой раствор НМ жидкости в полимере, вторая – чистую НМ жидкость или разбавленный раствор полимера в НМ жидкости.

6.1. Степень и кинетика набухания

На практике необходимо знать способность полимеров к набуханию в различных жидких средах. Эта способность оценивается по степени набухания, которая выражается количеством поглощенной полимером жидкости, отнесенным к единице массы или объема полимера.

Степень набухания может быть определена двумя методами:

- весовым, который заключается во взвешивании образца до и после набухания и вычислении по формуле 6.1.

$$\alpha = \frac{m - m_0}{m_0} \cdot 100 \%, \quad (6.1)$$

где m_0 – навеска исходного полимера, г;

m – навеска набухшего полимера, г;

α – степень набухания.

- объемным, который основан на измерении объема полимера до и после набухания, и рассчитывается по формуле 6.2.

$$\alpha = \frac{V - V_0}{V_0} \cdot 100 \%, \quad (6.2)$$

где V_0 – навеска исходного полимера, см³;

V – навеска набухшего полимера, см³;

α – степень набухания.

Степень набухания можно определить только у ограниченно набухающих полимеров, так как при неограниченном набухании сам полимер начинает растворяться, и масса образца уменьшается. Степень набухания изменяется во времени. Зависимость $\alpha=f(t)$ показана на рис. 6.1. Как видно из рисунка, в определенный период времени степень набухания становится постоянной. Горизонтальный участок на кривой соответствует максимальному значению степени набухания, иначе его называют равновесной степенью набухания.

У каждого полимера равновесная степень набухания устанавливается через разный промежуток времени. Каждая из кривой на рис.6.1. соответствует разным полимерам.

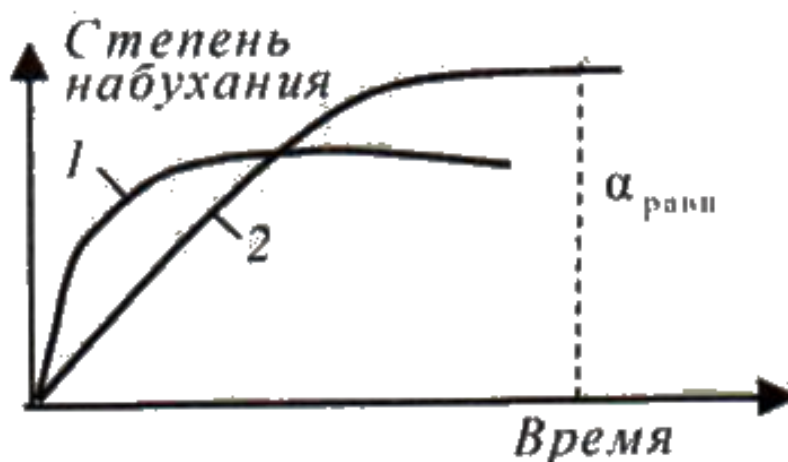


Рис.6.1. Кинетика набухания полимеров: 1 – быстрое набухание; 2 – медленное набухание

6.2. Факторы, определяющие растворение и набухание полимеров

Способность полимера растворяться или набухать обусловлена некоторыми факторами:

- химической природой полимера;
- молекулярной массой полимера;
- гибкостью цепи полимера;
- плотностью упаковки макромолекул;
- фазовым состоянием полимера;
- температурой и др.

6.3. Набухание целлюлозы

Целлюлоза может набухать в большом числе растворителей различного типа. Набухание целлюлозы в растворителях целесообразно сравнивать с набуханием в воде, но не с абсолютно сухой целлюлозой. Это объясняется тем, что, если в качестве стандартного образца применять абсолютно сухую целлюлозу, то почти любую жидкость, которая способна смачивать целлюлозу, можно рассматривать как среду, где она набухает больше, чем в воде. Характер и степень набухания зависят от тонкой структуры и морфологии (строения волокон) целлюлозы.

Чаще всего применяют раствор NaOH в качестве растворителя. Набухание волокон хлопковой или древесной целлюлозы в растворах гидроокислов щелочных металлов отличается от набухания во многих других реагентах тем, что при комнатной температуре действие этого растворителя незначительно влияет на структуру целлюлозы.

Процесс набухания целлюлозы в растворах щелочей происходит быстрее, чем в воде.

Лабораторная работа № 6

«Исследование процесса набухания целлюлозы»

Цель работы

Изучение процесса набухания целлюлозы. Сравнение процесса набухания целлюлозы в воде и в растворе щелочи.

Описание метода

Метод определения степени набухания целлюлозы основан на определении увеличения веса образца целлюлозы при её набухании в растворе щёлочи или в воде по ГОСТ 7516 - 55.

Ход работы

1. Стержни с двумя пластинками взвешивают с точностью до **0,01г**.
2. На них нанизывают по **10** кружков целлюлозы и снова взвешивают. По разности находят вес кружков целлюлозы, предназначенной для испытания.
3. Стержни с целлюлозой между пластинками помещают в конические колбы на 500 мл каждая. В одну из них заливают 250 мл воды, а в другую раствор 10%-ной щёлочи (также 250 мл).
4. Продолжительность набухания - 15 мин. По истечении этого времени, стержень с целлюлозой поднимают и закрепляют так, чтобы целлюлоза находилась выше уровня воды или щёлочи. В этом положении дают стечь избытку жидкости с целлюлозы в течение 5 мин.
5. Затем стержень с целлюлозой вынимают из колбы и осторожно осушают фильтровальной бумагой наружные стенки пластинок и стержень. Необходимо удалить фильтровальной бумагой также и остаток раствора щёлочи из имеющихся в пластинках отверстий, служащих для облегчения доступа щёлочи к целлюлозе.
6. После этого стержень с пластинками и целлюлозой взвешивают.

Обработка результатов

Степень набухания целлюлозы в воде и в щелочи вычисляют по формуле 6.1.

Контрольные вопросы:

1. Чем отличается внутримолекулярное набухание от межмолекулярного?
2. У каких полимеров можно определить степень набухания? Объясните почему.
3. Назовите методы определения степени набухания.
4. От чего зависит набухание полимеров?
5. Объясните полученные результаты и сделайте выводы по работе.

Библиографический список

Волков В.А. Коллоидная химия. Поверхностные явления и дисперсные системы. учебник. -2-е изд.,испр. –СПб.: Лань, 2015. – 672 с.

Гельфман М.И., Ковалевич О.В., Юстратов В.П. Коллоидная химия. СПб.: Лань, 2003.- 336 с.

Гродский А.С., Моргунов А.Ф., Назаров В.В., Шабанова Н.А. Практикум и задачник по коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы: учебное пособие для вузов. – М.: Академкнига, 2007.- 374 с.

Оглавление

Введение.....	3
1. ПОВЕРХНОСТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В КОЛЛОИДНЫХ СИСТЕМАХ.....	4
1.1. Поверхностная энергия и поверхностное натяжение	4
1.2. Поверхностно-активные вещества.....	5
1.3. Адсорбция. Уравнение Гиббса.....	5
Лабораторная работа № 1 «Определение поверхностного натяжения методом наибольшего давления пузырьков воздуха»	6
2. АДСОРБЦИЯ РАСТВОРЕННОГО В ЖИДКОСТИ ВЕЩЕСТВА НА ТВЕРДОМ АДСОРБЕНТЕ	8
2.1. Молекулярная адсорбция.....	9
2.2. Ионная адсорбция.....	11
2.3. Ионообменная адсорбция	12
2.4. Смачивание.....	12
Лабораторная работа № 2 «Адсорбция уксусной кислоты углём»	14
3. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОЛЛОИДНЫХ СИСТЕМ.....	17
3.1. Электрокинетические явления в гидрофобных золях.....	17
3.2. Пути образования ДЭС	20
Лабораторная работа № 3 «Измерение электрокинетического ξ - потенциала и определение знака заряда коллоидных частиц методом электрофореза».....	22
4. ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОЛЛОИДНЫХ СИСТЕМ.....	24
4.1. Рассеяние света	24
4.2. Поглощение света и окраска зольей	26
4.3. Оптические методы исследования коллоидных растворов.....	27
Лабораторная работа № 4 «Определение размеров частиц полистирольного латекса»	27
5. УСТОЙЧИВОСТЬ КОЛЛОИДНЫХ СИСТЕМ И ИХ КОАГУЛЯЦИЯ.....	29
5.1. Седиментационная устойчивость.....	30
5.2. Агрегативная устойчивость	30
5.3. Правила коагуляции	31
5.4. Кинетика коагуляции электролитами.....	32
5.5. Защита коллоидных систем	32
5.6. Строение мицелл коллоидных систем.....	33
5.7. Методы получения лиофобных зольей	33

5.8. Методы очистки коллоидных растворов Лабораторная работа № 5 «Определение порога коагуляции»	35
6. НАБУХАНИЕ ВМС	38
6.1. Степень и кинетика набухания	39
6.2. Факторы, определяющие растворение и набухание полимеров.....	40
6.3. Набухание целлюлозы.....	40
Лабораторная работа № 6 «Исследование процесса набухания целлюлозы»	41
Библиографический список.....	42

Учебное издание

Соколов Виктор Васильевич
Липин Вадим Аполлонович
Сустанов Татьяна Александровна

**Лабораторные работы
по коллоидной химии**

Учебное пособие

Редактор и корректор В.А. Басова
Техн. редактор Л.Я. Титова

Темплан 2016 г., поз. 76

Подп. к печати 30.11.15. Формат 60x84/16. Бумага тип. №1. Печать офсетная.
Объем 3,0 печ.л. 3,0 уч.-изд. л. Тираж 100 экз. Изд. № 76. Цена «С». Заказ

Ризограф Высшей школы технологии и энергетики СПбГУПТД, 198095,
Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, д.4