

ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ РОССИИ



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель ОПОП ВО
Профессор О.В. Черемисина

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ
ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
ПОВЕРХНОСТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ И ДИСПЕРСНЫЕ
СИСТЕМЫ**

Уровень высшего образования: подготовка кадров высшей квалификации
Направление подготовки: 04.06.01 Химические науки
Направленность (профиль): Физическая химия
Форма обучения: очная
Нормативный срок обучения: 4 года
Составитель: д.т.н. Черемисина О.В.

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2021**

ВВЕДЕНИЕ. ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Главным содержанием практических занятий является работа каждого обучающегося по овладению практическими умениями и навыками профессиональной деятельности. Практические занятия дополняют основной лекционный курс. Целью практических занятий является совершенствование умений и навыков решения практических задач.

№ п/п	Раздел	Тематика практических занятий
1	Введение	Классификация дисперсных систем по агрегатному состоянию и межмолекулярному взаимодействию.
2	Термодинамика дисперсных систем	Подходы к экспериментальному изучению и математическому моделированию поверхностных явлений
3	Сорбция	Термодинамическое моделирование равновесий переноса массы между фазами (сорбция, экстракция)
4	Электрокинетические явления	Методы определения величины электрокинетического потенциала
5	Устойчивость дисперсных систем	Методы изучения седиментационного равновесия. Действие коагулянтов и флокулянтов.

1. КЛАССИФИКАЦИЯ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ ПО АГРЕГАТНОМУ СОСТОЯНИЮ И МЕЖМОЛЕКУЛЯРНОМУ ВЗАИМОДЕЙСТВИЮ

Дисперсные системы всегда гетерогенные (гетерофазные). Они состоят из дисперсной фазы и дисперсионной среды.

Основные характеристики, используемые для описания дисперсных систем:

1) **Линейный** (поперечный, характеристический) **размер** частиц a – диаметр шара, ребро куба.

2) **Дисперсность** (раздробленность) D – это величина, обратная наименьшему размеру частиц,

$$D = 1/a, \text{ м}^{-1}$$

3) **Удельная поверхность** – площадь межфазной поверхности, приходящаяся на единицу объема дисперсной фазы

$$S_v = \frac{S}{V} = k \cdot D, \text{ м}^{-1},$$

или ее массы

$$S_m = \frac{S}{m} = \frac{S_v}{d_{\text{д.ф.}}} = \frac{k \cdot D}{d_{\text{д.ф.}}}, \text{ м}^2 / \text{кг},$$

$d_{\text{д.ф.}}$ – плотность дисперсной фазы, $\text{кг}/\text{м}^3$; D – дисперсность; k – коэффициент формы, для сферических и кубических частиц $k = 6$, для пленок $k = 2$, для волокон $k = 4$.

Линейный размер частиц и связанная с ним величина удельной поверхности являются важными характеристиками во многих отраслях промышленности.

Величина удельной поверхности является одной из характеристик коллекторских свойств горных пород по отношению к нефти и газу; с увеличением удельной поверхности, следовательно, с уменьшением линейного размера частиц коллекторские свойства пород ухудшаются.

Удельная поверхность является паспортной характеристикой твердых сорбентов, особенно она важна для описания непористых сорбентов: рост удельной поверхности приводит к увеличению емкости сорбента.

Линейный размер части крайне важен для проектирования сгустителей, отстойников, фильтрационного оборудования. Размер частиц более-менее крупных частиц определяют в результате прямых измерений при помощи специального оборудования (ситовой анализ,

использование микросайзеров и др.). Однако, в случае коллоидных систем, средний размер частиц вычисляют на основании результатов измерения удельной поверхности.

Параметр дисперсности служит и для определения площади поверхности, которую можно покрыть

Основными условиями получения коллоидных систем являются

- 1) нерастворимость (малая растворимость) дисперсной фазы в дисперсионной среде
- 2) наличие веществ-стабилизаторов коллоидной системы, которые
 - а) уже присутствуют как часть дисперсной системы
 - б) специально добавляют.

Вариантов получения дисперсной системы всего два: либо что-то надо измельчить до нужного размера, либо, наоборот, надо что-то «вырастить» до нужного размера. По Т. Сведбергу два основных способа: диспергирование (измельчение) и конденсация («выращивание», например, при кристаллизации из раствора). Дополнительно выделяют методы пептизации (перевод в состояние дисперсной системы осадков, размер частиц которых нужный) и самопроизвольное диспергирование.

Пример 1. Определить величину удельной поверхности, отнесённой к единице массы, для 5 г толуола (плотность $0,867 \text{ г/см}^3$), диспергированного в 1 л воды, если частицы толуола имеют шарообразную форму радиусом $2,5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$.

Решение

$$1. S_m = \frac{S_v}{d_{\text{д.ф.}}} = \frac{k \cdot D}{d_{\text{д.ф.}}} = \frac{k}{d_{\text{д.ф.}}} \cdot \frac{1}{a} = \frac{k}{d_{\text{д.ф.}}} \cdot \frac{1}{2r} = \frac{6}{0,867 \cdot 2 \cdot 2,5 \cdot 10^{-7}}$$

Пример 2. Дисперсность частиц коллоидного золота равна 10^8 м^{-1} . Принимая частицы золота в виде кубиков, определите, какую поверхность они могут покрыть, если их плотно уложить в один слой. Масса коллоидных частиц золота 1 г. Плотность золота равна $19,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

ЗАДАЧИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ

1. Вычислить величину удельной поверхности кварца, находящегося в виде суспензии сферических частиц, причем 30 % объема приходится на частицы, имеющие размер $1 \cdot 10^{-5} \text{ м}$, а объем остальных – на частицы с размером $5 \cdot 10^{-5} \text{ м}$.

2. Приняв, что в золе серебра (плотность $10,5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$) каждая частица представляет собой куб размером $4 \cdot 10^{-8} \text{ м}$, определить, сколько коллоидных частиц может получиться из 0,1 г серебра и вычислить поверхность, которую можно покрыть указанным количеством серебра, расположив дисперсные частицы в один слой.

3. Вычислить величину поверхности золя ртути (плотность $13,56 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$), состоящего из сферических частиц $1 \cdot 10^{-8} \text{ м}$.

4. Вычислить величину удельной объемной и массовой поверхности гидрозоля сульфида мышьяка (III) (плотность $3,43 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$) со средним размером частиц $1,2 \cdot 10^{-7} \text{ м}$.

5. Вычислить величину удельной объемной и массовой поверхности суспензии каолина плотностью $2,5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, состоящей из шарообразных частиц со средним диаметром $0,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}$.

2. ПОДХОДЫ К ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМУ ИЗУЧЕНИЮ И МАТЕМАТИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ ПОВЕРХНОСТНЫХ ЯВЛЕНИЙ

При проведении адсорбции в статических условиях (аппарат с перемешивающим устройством или шейкер) определяют

- а) термодинамические показатели процесса: константу равновесия, тепловой эффект;
- б) кинетические показатели процесса: порядок реакции (как правило, для гетерогенных процессов он равен 1), температурный коэффициент (константа скорости процесса), энергия активации, лимитирующая стадия;

в) характеристики сорбируемого вещества: длина углеводородного радикала органической молекулы, «посадочная площадка» - площадь, занимаемая функциональной группой;

г) характеристики сорбента: удельную поверхность, величину предельной адсорбции.

По совокупности термодинамических и кинетических параметров устанавливают условия тестирования сорбента в динамическом режиме, например, температуру процесса, расход раствора и др.

При проведении адсорбции в динамическом режиме (используют колонный аппарат) получают так называемую выходную кривую, при обработке и анализе которой устанавливают

а) величину емкости до проскока (емкость сорбента, которая обеспечивает отсутствие сорбируемого вещества в фильтрате);

б) величину динамической ёмкости, при превышении которой сорбции вещества из раствора или газовой смеси не происходит.

3. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАВНОВЕСИЙ ПЕРЕНОСА МАССЫ МЕЖДУ ФАЗАМИ. ЭКСТРАКЦИЯ

Экстракция – процесс переноса растворенного вещества из одной жидкой фазы в другую, при условии, что обе жидких фазы не смешиваются друг с другом. Обычно распределение (перенос) растворенного вещества происходит между водным и органическим растворами. Жидкостная экстракция используется для разделения компонентов гомогенных жидких систем.

Распределение компонентов происходит до достижения состояния равновесия, которое характеризуется равенством химических потенциалов данного вещества в обеих фазах:

$$\mu_{ж1} = \mu_{ж2} \text{ или } \mu_{ж1}^{\circ} + RT \ln a_{ж1} = \mu_{ж2}^{\circ} + RT \ln a_{ж2}.$$

Подобрать органическую фазу почти всегда можно таким образом, что он будет извлекать из водной фазы один или группу элементов. Объем органической фазы всегда берут много меньший, чем объем водного раствора. Поэтому экстракцию можно отнести и к методам концентрирования. Концентрирование и разделение при экстракции идет двумя путями:

абсолютное – один элемент переходит в органическую фазу;

относительное – в органическую фазу переходит несколько элементов, но один из них экстрагируется гораздо лучше других.



Рис. 1. Иллюстрация видов разделения

Экстрагент (Solvent) *S* – органический растворитель, содержащий активное вещество для извлечения целевых компонентов. *Экстракт* (extract) *E* – органический растворитель, содержащий целевой компонент, извлеченный из водной фазы. *Рафинат* (raffinate) *R* – водный раствор, полученный после экстракционного извлечения целевых компонентов. *Питающий раствор* (feed solvent) *F* – исходная водная фаза, содержащая целевые компоненты. *Промывной раствор* (wash solvent) *W* – раствор для регенерации экстрагента или промежуточной обработки экстракта. *Теоретическая* (равновесная) *стадия* – устройство или совокупность устройств, которое позволяет достигать эффекта глубокого контакта двух несмешивающихся жидкостей с последующим разделением двух фаз на два четких слоя (рис. 1б).

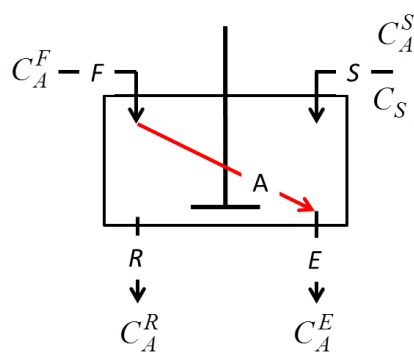


Рис. 2. Схема экстракции

Экстракционная способность органического реагента связана с содержанием воды в органической фазе. Эффективность экстракционного извлечения и разделения металлов непосредственно связана с гидрофобностью органических растворителей и их способностью вытеснять молекулы воды из координационной сферы катиона металла.

Для количественной характеристики полноты и селективности извлечения целевого компонента в процессе экстракции используют следующие показатели.

Коэффициент распределения элемента между рафинатом R и экстрактом E – соотношение молярных концентраций вещества в равновесных рафинате C_{org} и экстракте C_{aq} :

$$D = \frac{C_A^E}{C_A^R}.$$

Степень извлечения – доля экстрагируемого элемента, перешедшего в экстракт, от его количества в питающем растворе за одну ступень экстракции:

$$E = \frac{C_A^E V_E}{C_A^F V_F} \cdot 100 \% = \frac{D\alpha}{1 + D\alpha} 100 \%,$$

где α – отношение объемов экстракта (экстрагента) V_E (V_S) и питающего раствора V_F .

Коэффициент (фактор) разделения – отношение коэффициентов распределения лучше и хуже экстрагирующихся элементов:

$$\beta_{Ce/Y} = D_2/D_1,$$

где индекс 2 присвоен лучше экстрагируемому элементу.

По величине коэффициента разделения обычно судят об эффективности применения данной экстракционной системы для разделения элементов. Практически применяют экстракционные системы с $\beta \geq 1,5 - 2$.

Классификацию экстракционных процессов можно проводить на основе:

= процессов, вызывающих переход неорганических соединений из водной в органическую фазу,

= типа используемого экстрагента,

= формы существования извлекаемого компонента.

По типу процесса экстракционные системы могут быть разделены на две большие группы.



Рис. 3. Классификация видов экстракции

Системы с физическим распределением компонентов (распределение простых молекул).

Здесь отсутствует химическое взаимодействие между распределяемым веществом и экстрагентом. Экстракция идет по принципу различной растворимости компонентов в органической и водной фазах. Различная растворимость будет объясняться чисто физическими свойствами, например, различием в полярности молекул. В процессах физического распределения, как правило, участвуют простые вещества или соединения с малополярными ковалентными связями. Такие экстракционные системы чаще используют для разделения смеси органических веществ или выделения органических компонентов из водных растворов, грунтов и др.

Экстракция за счет химического взаимодействия

Данный процесс сопровождается образованием сложных комплексных соединений экстрагируемого вещества с органическим компонентом. Эффективность разделения определяется прочностью комплексов, образуемых компонентами. Данный метод в основном используется для разделения металлов.

Здесь экстрагент – органический раствор экстракционного реагента, способного к образованию химических соединений с ионами или молекулами извлекаемого вещества, в инертном разбавителе (органическом растворителе). Образующееся химическое соединение должно быть нерастворимо в воде и хорошо растворяться в выбранном органическом растворителе. Молекула экстракционного реагента должна иметь гетерополярное строение и состоять из неполярного углеводородного радикала и полярной функциональной группы. Углеводородный радикал обеспечивает малую растворимость в воде и высокую растворимость в разбавителе, а функциональная группа – образование химической связи с целевым компонентом.

В качестве разбавителей обычно применяют ароматические или алифатические углеводороды, хлорпроизводные углеводородов, спирты, нитробензол и др. Основное назначение разбавителя – снижение вязкости органической фазы, уменьшение потерь экстрагента.

Разбавители бывают двух типов: инертные и активные. *Инертные* разбавители мало или вообще не взаимодействуют с экстрагируемым веществом (углеводороды, хлорпроизводные). *Активные* разбавители реагируют с извлекаемым компонентом с образованием сольватов. Данный процесс, как правило, улучшает показатели процесса экстракции. Молекулы активных разбавителей как правило содержат в своем составе кислород.

Различие в способе экстракции проявляется в физических изменениях, наблюдаемых во время экстракции, а также в способе регенерации экстрагента.

В системах с **физическим распределением** относительная растворимость двух фаз обычно является функцией концентрации растворенного вещества.

С другой стороны, когда **образуется** определенное **химическое соединение**, начальные растворимости двух растворителей друг в друге обычно почти не изменяются.

При классификации по **форме существования извлекаемого компонента** можно обозначить две ситуации.

1. Экстрагируемое соединение уже существует в водной фазе – тогда мы чаще всего имеем дело с физическим распределением вещества и нужен только органический разбавитель.

2. Экстрагируемое соединение в водной фазе не существует и образуется непосредственно в процессе экстракции за счет химического взаимодействия с органическим реагентом. Так, например, происходит экстракция с образованием хелатов или ионных ассоциатов.

При классификации экстракционных систем **по типу экстрагента** обычно опираются на традиционную классификацию:

1) нейтральные экстрагенты – органические вещества, молекулы которых способны к образованию координационных связей с извлекаемым ионом;

2) жидкие ионообменники – органические кислоты и их соли или органические основания и их соли, способные к обмену неорганического иона, входящего в состав экстрагента на ион, находящийся в водном растворе.

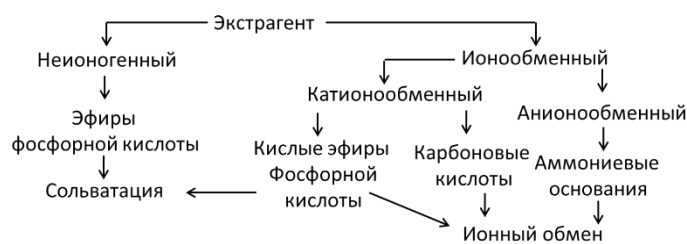


Рис. 4. Классификация химических экстрагентов

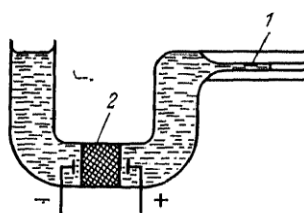
ВЫСАЛИВАТЕЛЬ

Как правило, инертное вещество (соль) способствующее переходу целевого компонента в органическую фазу, за счет образования мощных гидратных структур. Наибольшее высаливающее действие оказывают ионы с большой склонностью к гидратации. Наиболее сильно гидратируются ионы с малым радиусом и большим зарядом, например, Li^+ , Mg^{2+} , Al^{3+} .

4. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ЭЛЕКТРОКИНЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА

4.1. ЭЛЕКТРООСМОС

Электроосмос – направленное перемещение жидкости (дисперсионной среды) в пористом теле под действием приложенной разности потенциалов.



1 – капилляр, 2 – пористая мембрана.

Рис. 5. Иллюстрация к понятию «электроосмос»

Если к электродам приложить разность потенциалов, то противоионы диффузного слоя (на мембране) будут перемещаться к соответствующему электроду и, благодаря молекулярному трению, будут увлекать за собой дисперсионную среду, например, водный раствор. Чем больше потенциал диффузного слоя, тем больше носителей заряда и тем выше скорость перемещения жидкости в пористом теле.

Линейная скорость взаимного перемещения фаз и направление течения дисперсионной среды определяется свойствами мембраны и раствора и описывается уравнением Гельмгольца-Смолуховского:

$$u_0 = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot H \cdot \xi}{\eta} \text{ или } u = \frac{\varepsilon_0 \cdot \xi \cdot H}{4\pi\eta},$$

где ε_0 – диэлектрическая проницаемость среды; ε – диэлектрическая проницаемость частицы; ξ – электрокинетический потенциал; η – вязкость дисперсионной среды; H – напряженность электрического поля,

$$H = E/L,$$

где E – разность потенциалов; L – расстояние между электродами, м.

По скорости электроосмоса находят величину ξ -потенциала по формуле:

$$\xi = \frac{\eta \cdot u_0}{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot H} \text{ или } \xi = \frac{u \cdot 4\pi \cdot \eta}{\varepsilon_0 \cdot H}$$

Или по экспериментальным данным через объёмную скорость:

$$\xi = \frac{\eta \cdot \chi \cdot \nu}{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot I} = \frac{4\pi \cdot \eta \cdot \chi \cdot \nu}{\varepsilon_0 I} \cdot 9 \cdot 10^4, \text{ В.}$$

где χ – удельная электропроводность, $\text{См} \cdot \text{см}^{-1}$; ν – объёмная скорость, $\text{см}^3/\text{с}$; I – сила тока, А.

Помимо линейной или объёмной скорости движения среды для характеристики электроосмоса применяют понятие электроосмотической подвижности – скорости движения дисперсионной среды отнесенной к единице напряженности:

$$u_{\text{эо}} = \frac{u_0}{H} = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot \xi}{\eta} = \frac{\varepsilon_0 \cdot \xi}{4\pi \cdot \eta}$$

4.2. ПОТЕНЦИАЛ ПРОТЕКАНИЯ

Потенциал протекания (течения) или эффект Квинке – явление, обратное электроосмосу: при течении дисперсионной среды через пористую мембрану на ее концах появляется разность потенциалов, т.к. дисперсионная среда при своем движении увлекает за собой противоионы диффузного слоя и становится переносчиком электрического тока. Величина потенциала протекания пропорциональна перепаду давления:

$$\xi = \frac{\eta \cdot \chi \cdot u_{\text{течения}}}{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot \Delta p} \text{ или}$$

Для капилляров цилиндрической формы электрокинетический потенциал равен

$$\xi = \frac{4\pi \cdot \eta \cdot \chi \cdot E_T}{\varepsilon \cdot p} \cdot 6,75 \cdot 10^8 \text{ В,}$$

где η – вязкость среды, П; χ – удельная электропроводность жидкости, $\text{См} \cdot \text{см}^{-1}$; E_T – потенциал протекания, В; ε – диэлектрическая постоянная; p – давление, под которым проталкивается жидкость, мм рт. ст.

4.3. ЭЛЕКТРОФОРЕЗ

Электрофорез – направленное перемещение частиц дисперсной фазы под действием приложенной разности потенциалов.

При наложении на седиментационно устойчивую дисперсную систему внешней разности потенциалов происходит разрыв двойного электрического слоя по плоскости скольжения. В результате частица получает определенный заряд и перемещается к соответствующему электроду.

Линейная скорость электрофореза описывается уравнением Гельмгольца-Смолуховского:

$$u_{\phi} = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot H \cdot \xi}{\eta} \text{ или } u = \frac{\varepsilon_0 \cdot \xi \cdot H}{4\pi\eta},$$

где ε_0 – диэлектрическая проницаемость среды; ε – диэлектрическая проницаемость частицы; ξ – электрокинетический потенциал; η – вязкость дисперсионной среды; H – напряженность электрического поля.

Значение электрокинетического потенциала по данным о протекании электрофореза можно рассчитать по уравнению:

$$\xi = \frac{\eta \cdot u_{\phi}}{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot H} \text{ или } \xi = \frac{4\pi \cdot \eta \cdot u_{\phi}}{\varepsilon_0 \cdot H} \cdot 9 \cdot 10^4 = \frac{4\pi \cdot \eta \cdot l}{\varepsilon_0 \cdot H \cdot t} \cdot 9 \cdot 10^4, \text{ В.}$$

где η – вязкость среды, П; u – линейная скорость, см/с; H – напряженность электрического поля, В/см; ε – диэлектрическая проницаемость среды; l – сдвиг границы золь – контактная жидкость, см; t – время, с.

При изучении явления электрофореза вместо линейной скорости используют понятие электрофоретической подвижности

$$u_{\text{эф}} = \frac{u}{H} = \frac{\varepsilon \xi}{4\pi\eta}.$$

4.4. ПОТЕНЦИАЛ СЕДИМЕНТАЦИИ

Потенциал седиментации или эффект Дорна – явление, обратное электрофорезу: под действием силы тяжести либо центробежной силы осаждаются частицы твердой фазы, несущие заряд, т.к. в процессе осаждения ионы диффузного слоя отстают от движения коллоидной частицы, следовательно, возникает поток движущихся частиц и разность потенциалов, величина которой связана с ξ -потенциалом уравнением

$$\xi = \frac{3\eta \cdot \chi \cdot E}{4\pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot r^3 \cdot (d - d_0) \cdot g \cdot \nu}$$

где E – потенциал седиментации; r – размер частиц; d – плотность частицы; d_0 – плотность дисперсионной среды; η – вязкость; χ – электропроводность; g – ускорение свободного падения; ν – число частиц в единице объема:

$$\nu = \frac{C, \text{ кг/м}^3}{\frac{4}{3}\pi \cdot r^3 \cdot d}$$

Эффект Дорна, как и эффект Квинке является причиной самовозгорания.

5. МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ СЕДИМЕНТАЦИОННОГО РАВНОВЕСИЯ. ДЕЙСТВИЕ КОАГУЛЯНТОВ И ФЛОКУЛЯНТОВ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРОГА КОАГУЛЯЦИИ И РАЗМЕРА ЧАСТИЦ

Гидрозоль гидроксида железа синтезируют методом конденсации, путем проведения реакции гидролиза хлорида железа при 100°C: $\text{FeCl}_3 + 3\text{H}_2\text{O} = \text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{HCl}$. Агрегативная устойчивость золя гидроксида железа обеспечивается наличием на поверхности дисперсных частиц двойных электрических слоев. Формулу мицеллы ионостабилизированного золя гидроксида железа можно записать следующим образом: $\{[\text{Fe}(\text{OH})_3]_n \cdot m\text{Fe}^{3+} \cdot 3(m-x)\text{Cl}^-\} 3x\text{Cl}^-$

В процессе коагуляции высокодисперсного золя гидроксида железа образуются сравнительно небольшие по размерам седиментационно устойчивые агрегаты, поэтому исследования коагуляции частиц $[\text{Fe}(\text{OH})_3]_n$ удобнее проводить с помощью турбидиметрического метода. Применимость этого метода основывается на сильной зависимости интенсивности ослабления светового потока от размеров частиц. При коагуляции частиц ослабление света увеличивается, следовательно, растет кажущаяся оптическая плотность.

Оптическая плотность D пропорциональна концентрации и квадрату объема частиц. Это позволяет определять размеры частиц и их концентрацию по кажущейся оптической плотности системы с помощью турбидиметрических измерений. Если размер (диаметр) взвешенных частиц составляет от $1/10$ до $1/3$ длины световой волны и показатели преломления частиц и среды не сильно различаются, то для определения размера дисперсных частиц используют эмпирическое уравнение Геллера:

$$D = k \cdot \lambda^{-n} \text{ или } \lg D = \lg k - n \cdot \lg \lambda,$$

где k – коэффициент пропорциональности.

Показатель степени (n) связан с длиной волны и размером частиц линейным уравнением

$$z = \frac{8\pi r}{\lambda} = -3,7 \cdot n + 16,2.$$

С увеличением z значение n уменьшается в пределе к 2 для частиц, радиус которых больше длины волны. При малых значениях z показатель степени n стремится к 4 и выполняется уравнение Рэлея.

Экспериментально измеряют кажущуюся оптическую плотность дисперсной системы при различных длинах волн (в достаточно узком интервале λ) и строят график в координатах $\lg D - \lg \lambda$. Затем рассчитывают средний (наиболее вероятный) радиус частиц исследуемой дисперсной системы.

ОБОРУДОВАНИЕ И РЕАКТИВЫ

Фотоэлектроколориметр; кюветы стеклянные толщиной 1 см – 2 шт.; салфетки; электрическая плитка или колбонагреватель; круглая колба объемом 250 мл – 1 шт.; колба коническая объемом 100 мл – 10 шт.; градуированная пипетка объемом 10 мл – 1 шт.; градуированная пипетка объемом 5 мл – 2 шт.; мерная пипетка объемом 10 мл – 1 шт.; хлорид железа (III) – раствор, концентрацией 2%; сульфат натрия – раствор, концентрацией 0,0125 М; хлорид натрия – раствор концентрацией 0,5М.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРОГА КОАГУЛЯЦИИ

1. В колбу с 250 мл кипящей воды мерной пипеткой прилить 10 мл раствора хлорида железа. Образовавшийся золь, красно-коричневого цвета, охладить до комнатной температуры.

2. В 10 пронумерованных колб емкостью 100 мл налить по 10 мл золя, дистиллированную воду и раствор электролита (Na_2SO_4 и NaCl) в следующих объемах:

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Объем воды, мл	10,0	9,0	8,5	8,0	7,5	7,0	6,5	6,0	5,5	5,0
Объем электролита, мл (Na_2SO_4 или NaCl)	0	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0

3. Выдержать пробы 2-4 минуты.

4. Измерить оптическую плотность золя каждой колбы с помощью КФК-3 на длине волны 365 нм. Раствор сравнения – дистиллированная вода. При измерении оптической плотности действовать в соответствии с инструкцией к прибору.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ ЧАСТИЦ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ

1. Приготовить золь гидроксида железа: в колбу с 250 мл кипящей воды мерной пипеткой прилить 10 мл раствора хлорида железа. Образовавшийся золь, красно-коричневого цвета, охладить до комнатной температуры. *Примечание: использовать золь, приготовленный в п. 3.1.*

2. В кювету толщиной 1 см налить до метки дистиллированную воду и насухо протереть стенки кюветы кусочком фильтровальной бумаги.

3. Кювету с водой (раствор сравнения) поместить в дальнее отделение кюветодержателя.

4. В другую кювету толщиной 1 см налить до метки пробу золя и насухо протереть стенки кюветы кусочком фильтровальной бумаги.

5. Кювету с золем поместить в ближнее отделение кюветодержателя.

6. Кюветодержатель поместить в кюветное отделение прибора.

7. Измерить оптическую плотность раствора при различных длинах волн в диапазоне от 350 до 600 нм с шагом 50 нм, следуя инструкции к пользованию прибором. Результаты измерений занести в таблицу Протокола лабораторной работы.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Толщина кюветы $l = \underline{\hspace{2cm}}$ мм

Таблица зависимости кажущейся оптической плотности от длины волны

λ , нм	350	400	450	500	550	600
D						

Наименование электролита и его химическая формула

Концентрация раствора электролита

Зависимость кажущейся оптической плотности золя гидроксида железа от объема добавленного электролита

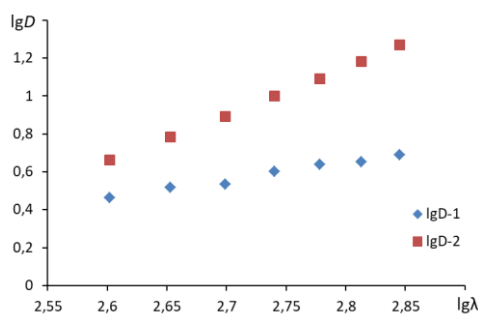
№	Объем электролита	Объем воды	Оптическая плотность золя, D	
	$V_{Э}$, мл	$V(H_2O)$, мл	NaCl	Na ₂ SO ₄
1	0	10		
2	1,0	9,0		
3	1,5	8,5		
4	2,0	8,0		
5	2,5	7,5		
6	3,0	7,0		
7	3,5	6,5		
8	4,0	6,0		
9	4,5	5,5		
10	5,0	5,0		

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

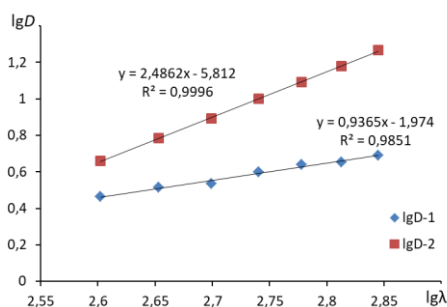
1. Заполнить таблицу:

λ , нм	D	$\lg\lambda$	$\lg D$
350			
400			
450			
500			
550			
600			

2. Построить график в координатах $\lg\lambda - \lg D$



3. Построить линию тренда (формат линии тренда: аппроксимация – линейная, показывать уравнение на диаграмме, поместить на диаграмму величину достоверности аппроксимации R^2)



4. По угловому коэффициенту уравнения линии тренда определить величину n .

5. Определить среднее значение длин волн: $\lambda_{cp} = \frac{\lambda_{max} + \lambda_{min}}{2}$

6. По уравнению $z = \frac{8\pi r}{\lambda} = -3,7 \cdot n + 16,2$ с использованием найденного значения n вычислить параметр z .

7. Рассчитать средний радиус частиц по формуле: $r_{cp} = \frac{\lambda_{cp} \cdot z}{8\pi}$

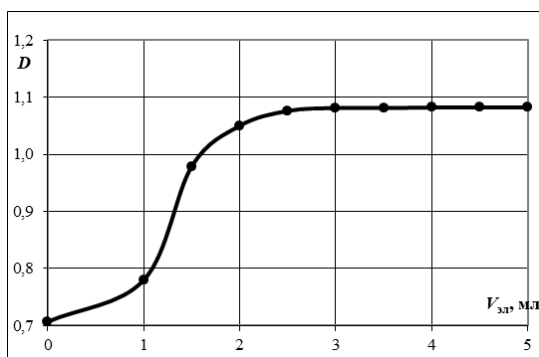
1. Построить график зависимости $D = f(V_{эл})$ для Na_2SO_4 и $NaCl$.

2. По графику найти пороговые объемы электролита $V_{эл}$, вызывающие быструю коагуляцию золя.

3. Рассчитать значение $C_{кр}$, называемую порогом коагуляции

$$C_{кр} = \frac{C_{эл} V_{эл}}{V_{\Sigma}}$$

где $C_{эл}$ – концентрация раствора электролита, применяемого для коагуляции, $V_{эл}$ – наименьший объем раствора электролита, V_{Σ} – суммарный объем коллоидного раствора с электролитом.



4. Сравнить найденные значения $C_{кр}$ для Na_2SO_4 и CH_3COONa и проверить их соответствие правилу Шульце – Гарди.

$$C_{кр}^I : C_{кр}^{II} = 1 : \frac{1}{2^6} = 1 : \frac{1}{64}$$

СОДЕРЖАНИЕ

Введение. Темы практических занятий.....	2
1. Классификация дисперсных систем по агрегатному состоянию и межмолекулярному взаимодействию	2
2. Подходы к экспериментальному изучению и математическому моделированию поверхностных явлений.....	3
3. Термодинамическое моделирование равновесий переноса массы между фазами. Экстракция.....	4
4. Методы определения величины электрокинетического потенциала	7
4.1. Электроосмос.....	7
4.2. Потенциал протекания.....	8
4.3. Электрофорез.....	8
4.4. Потенциал седиментации	9
5. Методы изучения седиментационного равновесия. Действие коагулянтов и флокулянтов. Определение порога коагуляции и размера частиц	9