

К. И. Омарова

ДЕМОНСТРАЦИОННЫЕ ОПЫТЫ ПО КОЛЛОИДНОЙ ХИМИИ

Методические указания



КАЗАК
УНИВЕРСИТЕТИ
БАСПАУИ

К. И. Омарова

ДЕМОНСТРАЦИОННЫЕ ОПЫТЫ
ПО КОЛЛОИДНОЙ ХИМИИ

Методические указания

Алматы
«Қазақ университеті»
2017

УДК 544(075)

ББК 24.6я73

О-57

*Рекомендовано к изданию Ученым советом
факультета химии и химической технологии
и РИСО КазНУ им. аль-Фараби
(протокол № 2 от 29.12.2016)*

Рецензент

кандидат химических наук, доцент, профессор **А.К. Коканбаев**

Омарова К.И.

О-57 Демонстрационные опыты по коллоидной химии: методические указания / К.И. Омарова. – Алматы: Қазақ университеті, 2017 – 48 с.

ISBN 978-601-04-2241-4

Методические указания по демонстрации опытов по коллоидной химии разработаны для студентов, магистрантов, PhD-докторантов и молодых научных сотрудников по специальности «Химия», а также по другим специальностям в области химии. Демонстрационные опыты по коллоидной химии эффективны и подтверждают особые свойства высокодисперсных (коллоидных) систем.

УДК 544(075)

ББК 24.6я73

ISBN 978-601-04-2241-4

© Омарова К.И., 2017

© КазНУ им. аль-Фараби, 2017

ВВЕДЕНИЕ

Материальная основа современной цивилизации связана большей частью с раздробленными (диспергированными) веществами. Коллоидная химия – это значительная область химической науки, которая изучает свойства веществ в дисперсном состоянии. Дисперсность (раздробленность, рассеянность) является основной коллоидно-химической характеристикой систем. Диапазон дисперсности очень широк – от высокодисперсных (10^{-7} см, больших, чем молекулы, но невидимых в оптический микроскоп) до видимых невооруженным глазом (10^{-2} см). Приведенный диапазон охватывает не только частицы в коллоидном состоянии, но и существующие все реальные тела. Любое вещество может быть получено в коллоидном виде при определенных условиях. Поэтому общепринято принимать коллоидное состояние как всеобщее состояние материи.

Дисперсные системы гетерогенны и состоят не менее чем из двух фаз. При этом одна из фаз раздроблена (дисперсная фаза), а другая непрерывная и в случае жидкости находится в молекулярном состоянии (дисперсионная среда). Диспергирование (измельчение) увеличивает суммарную поверхность при постоянном общем объеме и массе системы. Увеличение удельной поверхности приводит к изменению чисто физических свойств – интенсивность окрашивания, прочность, твердость и большая растворимость. Однако с изменением указанных свойств появляются совершенно новые, характерные для коллоидного состояния свойства. В коллоидном состоянии молекулы, находящиеся на границе раздела фаз, расположены в несимметричном силовом поле и обладают избытком свободной энергии. В высокодисперсном состоянии основная доля массы вещества и энергии системы сосредоточена в межфазных поверхностных слоях. Поверхностные свойства определяют характерные свойства дисперсных систем (адсорбция, электрокинетические свойства, ионный обмен и т.д.) и пути управления этими свойствами.

Коллоидная химия является специфической пограничной областью знаний. Становление, развитие, совершенствование

коллоидной химии происходило во взаимодействии химии, физики, физики твердого тела, механики материалов, реологии, гидродинамики и т.д. Пограничный характер коллоидной химии усиливает ее ведущую роль в смежных областях – биологии, почвоведении, геологии. На коллоидно-химических закономерностях основаны нефтедобывающая и нефтеперерабатывающая, строительная, пищевая, фармацевтическая и др. промышленности. Следует отметить большую роль коллоидной химии в решении задач охраны окружающей среды. Современная коллоидная химия является базовой дисциплиной и способствует подготовке высококвалифицированных специалистов различных областей промышленности.

В разработанном методическом пособии представлена методика проведения демонстрационных опытов, которые позволяют реально наблюдать эффектные и красочные специфические свойства высокодисперсных систем.

Демонстрационные опыты предназначены для студентов высших учебных заведений по различным химическим специальностям. Ранее при прохождении студентами химического факультета педагогической практики в средних школах г. Алматы часть опытов демонстрировалась учащимся 8–10 классов. Опыты вызывали огромный интерес у учеников, что способствовало популяризации химического факультета.

Демонстрационные опыты по коллоидной химии, которых известно достаточное количество, являются показательными, привлекательными занятиями, демонстрирующими удивительные свойства дисперсных систем.

Опыт 1

ПОЛУЧЕНИЕ КОЛЛОИДНЫХ СИСТЕМ

(Метод замены растворителя, метод реакции двойного обмена)

Для проведения опыта необходимы:

- 1) 2%-ный раствор канифоли в этиловом спирте;
- 2) насыщенный раствор серы в этиловом спирте;
- 3) 20%-ный раствор гексацианоферрата калия $K_4[Fe(CN)_6]$;
- 4) насыщенный (на холоду) раствор хлорного железа ($FeCl_3$);
- 5) 1,7%-ные растворы нитрата серебра и иодида калия;
- 6) мерные колбы на 100 мл;
- 7) 2 плоскодонные колбы на 100 мл с пробками;
- 8) капельница;
- 9) стеклянная палочка.

Порядок проведения демонстрационного опыта

1. Метод замены растворителя

Получение золя канифоли – в стеклянную колбу наливают 100 мл дистиллированной воды, затем при постоянном перемешивании по каплям добавляют 5–10 мл раствора канифоли. В результате образуется молочно-белый золь канифоли. Золь канифоли обладает высокой устойчивостью и течение длительного времени сохраняет размеры частиц и их равномерное распределение в дисперсионной среде. Частицы золя канифоли заряжены отрицательно.

Получение золя серы – желательно за несколько дней до проведения демонстрационного опыта приготовить насыщенный раствор серы в этиловом спирте. Предварительно мелко растертую серу оставляют на 1–2 суток в этиловом спирте, затем отфильтровывают раствор от осадка и хранят его в отдельной колбе с притертой пробкой. При проведении демонстрационного опыта к 80 мл дистиллированной воды при постоянном перемешивании добавляют по каплям 20 мл спиртового раствора серы. При смешении отчетливо видно образование мо-

лочно-белого золя серы. Частицы золя серы заряжены отрицательно.

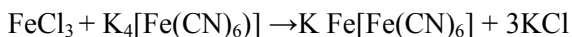
Получение вышеназванных зольей методом замены растворителя вызвано нарушением равновесного состояния при смешении большого объема воды и спиртового раствора. При этом химический потенциал компонента (канифоли, серы) в дисперсионной среде становится выше равновесного. Переход к новому равновесному состоянию приводит к возникновению новой фазы. Так, при вливании насыщенного раствора серы в этиловом спирте в большой объем воды спиртово-водный раствор становится пересыщенным по отношению к молекулам серы. Пересыщение вызывает агрегирование молекул серы с образованием частиц новой дисперсной фазы и получением золя серы. Таков же механизм образования и золя канифоли.

2. Метод реакции двойного обмена

а) Получение золя берлинской лазури с отрицательно заряженными частицами: 0,5 мл 20%-ного раствора желтой кровяной соли $K_4[Fe(CN)_6]$ разбавляют дистиллированной водой до 100 мл. К разбавленному раствору добавляют одну каплю насыщенного раствора $FeCl_3$. При этом образуется прозрачный синего цвета золь берлинской лазури. Дополнительно можно ввести 1–2 капли $FeCl_3$ для усиления интенсивности синего цвета золя.

б) Получение золя берлинской лазури с положительно заряженными частицами: 0,1 мл насыщенного на холоде раствора $FeCl_3$ вводят в 100 мл воды. В разбавленный раствор добавляют при взбалтывании 1 каплю 20%-ного раствора $K_4[Fe(CN)_6]$. Образуется золь берлинской лазури синего цвета с положительно заряженными частицами.

Образование золя берлинской лазури происходит в результате реакции обмена:



Знак заряда частиц берлинской лазури зависит от природы иона, находящегося в избытке после разбавления и смешения

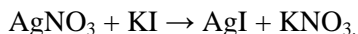
компонентов: а) после разбавления и смешения компонентов в смеси будет находиться избыточное количество $K_4[Fe(CN)_6]$ в сравнении с $FeCl_3$, что приводит к адсорбции ионов $[Fe(CN)_6]^{4-}$ на частицах золя, и заряжать их отрицательно.

б) В данном случае после разбавления и смешения в избытке будут находиться ионы Fe^{3+} , адсорбция которых на частицах золя придает им положительный заряд.

в) Получение золя иодида серебра:

10 капель 1,7%-ного раствора $AgNO_3$ разбавляют до 50 мл, затем добавляют по каплям при взбалтывании 1 мл 1,7%-ного раствора иодида калия. В результате образуется голубоватый опалесцирующий золь иодида серебра.

После разбавления и смешения растворов образование золя происходит в результате реакции обмена:



Из зольей галогенидов серебра наибольшей устойчивостью отличается золь AgI , что связано с его меньшей растворимостью в воде (растворимости иодида, бромиды и хлорида серебра в воде при $20^\circ C$ равны соответственно $9,7 \cdot 10^{-9}$, $6,6 \cdot 10^{-6}$ и $1,25 \cdot 10^{-5}$ моль/л). Устойчивость золя AgI с отрицательно заряженными частицами выше, чем с положительно заряженными. Причина в том, что иодид-ионы адсорбируются на частицах AgI сильнее, чем катионы серебра. Поэтому изоэлектрическая точка золя AgI соответствует не строгой эквивалентности компонентов, а некоторому избытку ионов Ag^+ над ионами I^- .

Дисперсные системы с размерами частиц от 10^{-6} до 10^{-7} см относятся к (коллоидно-дисперсным) высокодисперсным системам, которые ранее назывались коллоидами и были основными объектами научных исследований. На современном этапе развития коллоидной химии понятие дисперсности распространяется на широкую область размеров – размеров больших молекул и до видимых невооруженным глазом (от 10^{-7} до 10^{-2} см). Выше приведены способы получения нескольких зольей, образование которых не осложнено влиянием цвета исходных компонентов. Поэтому образование золя является показательным и не вы-

не вызывает сомнения. Кроме того, вышеуказанные золи необходимы при демонстрации их свойств, связанных с размерами частиц, в частности, рассеяния света дисперсными частицами.

Опыт 2

МЕТОДЫ ОТЛИЧИЯ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ ОТ МОЛЕКУЛЯРНЫХ И ИОННЫХ РАСТВОРОВ

(Рассеяние света высокодисперсными частицами – явление опалесценции)

Для проведения опыта необходимы:

- 1) водные растворы FeCl_3 , CuSO_4 , KMnO_4 ;
- 2) раствор флуоресцина;
- 3) золи $\text{Fe}(\text{OH})_3$, MnO_2 , берлинской лазури, канифоли, серы, иодида серебра;
- 4) камфора;
- 5) источник света;
- 6) светофильтры, пропускающие свет с различной длиной волны.

Порядок проведения демонстрационного опыта

Яркий свет от сильного источника (электрическая дуга или лампа) с помощью конденсорной линзы фокусируют на кювету (мерный цилиндр объемом не более 50 мл) с молекулярными растворами, а затем с золями различной природы. При наблюдении сбоку чистые жидкости или молекулярные растворы будут оптически пустыми – не изменяются цвет, яркость окрашивания растворов. В случае зольей (высокодисперсных систем или так называемых коллоидных растворов) при их освещении сбоку наблюдается переливчатое обычно голубоватых оттенков свечение (*опалесценция*) в виде конуса (эффект Тиндаля).

Обоснование опыта

Основным оптическим свойством коллоидных систем является *рассеяние света*. Явление рассеяния света обнаружил

Тиндаль (1868 г.), который заметил, что в дисперсных системах при освещении их сбоку наблюдается на темном фоне характерное переливчатое (обычно голубоватых оттенков) свечение, названное опалесценцией. С помощью этого явления дисперсные системы можно легко отличить от молекулярных растворов.

Светорассеяние наблюдается только в том случае, когда длина световой волны больше размера частицы дисперсной фазы. В случае крупных частиц будет происходить отражение света.

Теория светорассеяния была развита лордом Рэлеем для частиц, не поглощающих свет и не проводящих ток. Наблюдаемый эффект является результатом взаимодействия света с веществом. Согласно принципу Гюйгенса в однородной среде свет распространяется только в первоначальном направлении. Монохроматический свет представляет собой электромагнитную волну, которая характеризуется напряженностью электрического поля H и напряженностью магнитного поля M . При прохождении световой волны через дисперсную систему переменное во времени электромагнитное поле вызывает поляризацию частиц (плотность частиц много больше плотности дисперсионной среды). Поляризованные частицы представляют собой диполи с переменными электромагнитными моментами и являются источниками излучения света. Если же в среде имеются неоднородности с другими показателями преломления, например, дисперсные частицы, дипольные моменты приобретают разную величину и испускают нескомпенсированное излучение в форме рассеянного света.

Таким образом, интенсивность светорассеяния I_p должна быть функцией показателей преломления дисперсной фазы n_1 и дисперсионной среды n_0 , длины волны λ , объема частицы v , а также частичной концентрации V и, наконец, от интенсивности падающего света I_0 .

$$I_{sc} = I_0 \frac{24\pi^3 v V^2}{\lambda^4} \left(\frac{n_1^2 - n_0^2}{n_1^2 + 2n_0^2} \right)^2 \quad (1)$$

Уравнение (1) является основой для оптических методов исследования дисперсных систем. Интенсивность рассеянного света зависит I_p от различных параметров.

1. Величина I_p зависит от $(n_1 - n_0)$, т. е. чем больше указанная разность, тем больше интенсивность рассеянного света. Поэтому растворы ВМС, для которых разность $(n_1 - n_0)$ невелика, слабо опалесцируют.

2. Величина I_p пропорциональна размерам частиц (r^3). Линейность сохраняется лишь в области малых размеров частиц ($2\pi r / \lambda < 0,3$) ($r < (2-4) \cdot 10^{-6}$ см). При больших размерах частиц рассеяние заменяется отражением, по мере увеличения размеров частиц интенсивность рассеянного света уменьшается, поскольку снижается суммарная поверхность частиц.

3. Интенсивность рассеянного света зависит от длины волны падающего света. Обычные бесцветные коллоидные системы при освещении сбоку обнаруживают синеватую окраску вследствие рассеяния в первую очередь коротких волн (синий свет).

С этим связан голубой цвет табачного дыма, керосина, снятого молока. Голубой цвет неба связан с рассеянием света мельчайшими капельками воды, флуктуацией плотности газов атмосферы Земли и благодаря большой толщине земной атмосферы.

В проходящем свете золи имеют красноватый оттенок, т.к. выбывают лучи синего света. Оранжево-красный цвет неба при восходе или заходе Солнца объясняется тем, что в это время мы наблюдаем прошедший через атмосферу свет.

В случае металлических золей характерны сложные закономерности. Электромагнитное поле световой волны формирует электрический ток, и часть энергии переходит в теплоту, что способствует поглощению света. Так, влияние размера частиц золя можно проследить на окраске золя золота. Высокодисперсные золи Au ($r = 20$ нм) окрашены в красный цвет в результате интенсивного поглощения зеленой части спектра. При уве-

личении радиуса частиц до 50 нм золь Au окрашен в синий цвет за счет рассеяния синей части спектра. По данным Сведберга, золи золота с очень малыми размерами частиц порядка 3 нм окрашены в желтый цвет аналогично ионам Au^{3+} в растворе AuCl_3 .

Известны золи с неметаллическими частицами, окраска которых связана с избирательным поглощением световых лучей их частицами. Так, золь берлинской лазури интенсивно окрашена в синий цвет, золь сульфида сурьмы – в красный, золь сульфида мышьяка – в желтый цвет и т. д.

Обычно интенсивность окраски золей значительно превышает интенсивность окраски молекулярных растворов. Желтая окраска золя As_2S_3 наблюдается при содержании 1 части As_2S_3 в $8 \cdot 10^5$ части воды. Красный цвет золя золота заметен при содержании 1 части Au в $1 \cdot 10^8$ частях воды. В обоих примерах толщина слоя раствора составляет 1 см. При одной и той же весовой концентрации золя Au и фуксина интенсивность окрашивания золя Au в 400 раз больше интенсивности раствора фуксина.

Окраска драгоценных камней и самоцветов также объясняется присутствием в них частиц металлов или их оксидов коллоидной степени дисперсности. Так, рубин представляет собой коллоидный раствор Cr или Au в Al_2O_3 . Искусственные рубины представляют коллоидный раствор Au в стекле (содержание Au 0,0001%). Этот способ разработан М.В. Ломоносовым. Многие полудрагоценные камни представляют собой дисперсию металлов в решетке SiO_2 : в аметисте присутствует Fe, в сапфире – Si и его оксиды, в изумрудах – Cr, в опале – мельчайшие капли воды и т. д. Интенсивность и оттенки цвета зависят от размеров включений и числа металлов и их оксидов, присутствующих одновременно в SiO_2 или Al_2O_3 .

Опалесценция внешне сходна с флуоресценцией, характерной только для истинных растворов некоторых веществ, например флуоресцеина, озона и т.д. Явление флуоресценции возникает почти исключительно под влиянием света, содержащего лучи короткой длины волны: фиолетовые и ультрафиолетовые. Флуоресценция представляет собой внутримолекулярное явление и связана с селективным поглощением света определенной

длины волны. При поглощении света молекулами вещества молекула переходит из основного (невозбужденного) в возбужденное состояние. По существу, это означает переброс одного из двух р-электронов с низкой энергетической орбиты на более высокую без изменения спина. При этом происходит трансформация поглощенного луча в световой луч с другой, большей длиной волны, и в отраженном свете раствор приобретает окраску. Обычно рассеяние света (опалесценция) высокодисперсными системами наблюдается при любой длине волны. Флуоресценция вызвана светом определенной для каждого вещества длиной волны. Флуоресценция флуоресцеина сильна и отчетлива в ультрафиолетовой области, имеет в отраженном свете желто-зеленую окраску.

Получение золей, необходимых для наблюдения рассеяния света, приведены ниже и в опыте 1.

Получение золь гидрата окиси железа ($Fe(OH)_3$). В конической колбе 85 мл дистиллированной воды нагревают до кипения, затем в кипящую воду приливают по каплям 15 мл 2%-ного раствора хлорного железа (III). После нескольких минут выдерживания на плитке образуется красно-коричневый золь гидрооксида железа. В процессе гидролиза образуется основная соль $FeOCl$, диссоциирующая по следующей схеме:



В результате адсорбции ионов FeO^+ частицы приобретают положительный заряд.

Золь диоксида марганца (MnO_2) получают восстановлением соли марганца тиосульфатом натрия. Для этого 5 мл 1,5%-ного раствора разбавляют водой до 50 мл. В разбавленный раствор вводят по каплям 1,5–2 мл 1%-ного раствора $Na_2S_2O_3$, в результате образуется вишнево-красный золь MnO_2 . Адсорбция ионов MnO_4^{4-} на поверхности частиц определяет отрицательный заряд частиц золя.

Опыт 3

ДВИЖУЩИЙСЯ КОРАБЛИК И ПУШКА

(Адсорбция ПАВ на границе раствор-газ, поверхностное натяжение, поверхностное давление)

Для проведения опыта необходимы:

- 1) бутиловый спирт;
- 2) олеиновая кислота;
- 3) тальк (детская присыпка);
- 4) пипетка на 1–2 мл;
- 5) кристаллизатор (2 шт.);
- 6) чашки Петри (2–3 шт.);
- 7) вырезанные из тонкой фольги фигуры кораблика (рис. 1 а), пушки и ядра (рис. 1 б).

Порядок проведения демонстрационного опыта

а) В тщательно отмытый кристаллизатор налить воды и на поверхность воды с помощью пинцета положить фигуру кораблика. Под «корму» кораблика (треугольный вырез) нанести каплю бутилового спирта и наблюдать движение кораблика. Нанесение капли можно повторить и наблюдать дальнейшее движение кораблика. Затем в чистый кристаллизатор снова налить воды и на ее поверхность положить фигуру кораблика. На пути движения кораблика на некотором расстоянии от кораблика поместить пушку и в ее квадратном вырезе «ядро», направленное в сторону кораблика. Нанести каплю бутилового спирта под «корму» кораблика и в начале движения кораблика капнуть каплю олеиновой кислоты (предварительно сильно нагретой) в разрез между пушкой и «ядром». В результате можно наблюдать резкое движение «ядра» навстречу кораблику и остановку его движения.

б) Опыты Дево

«Кораблик» с камфорой. В угол выреза «кораблика» положить кусочек камфоры. На поверхность «кораблика» в центр прикрепить (парафином или воском) тонкий легкий стержень с прикрепленным к его концу бумажным флажком (рис. 1). Осто-

можно опустить «кораблик» на поверхность воды, залитой в кристаллизатор. «Кораблик» сразу же начнет двигаться по поверхности воды.

«Танец» камфоры. На поверхность воды в чистом кристаллизаторе опустить (при этом не касаться руками) мелкие кусочки камфоры. Можно взять кусочек камфоры за один конец и перочинным ножиком с другого конца соскоблить мелкие частицы на поверхность воды. Наблюдают движение камфоры, которое будет тем энергичнее, чем мельче куски.

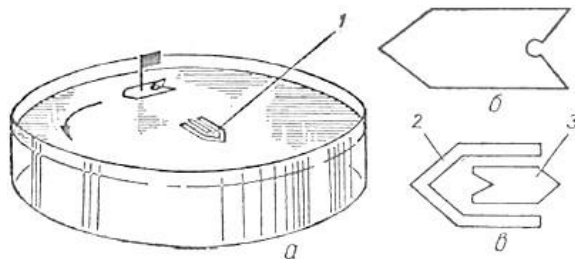


Рис. 1. Движущийся кораблик

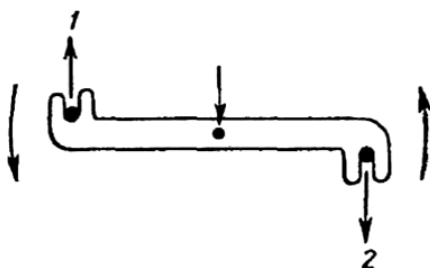


Рис. 2. «Двумерное колесо»

«Двумерное колесо». Из тонкой пластины слюды вырезать изогнутую полоску с вырезами на концах и отверстием в середине (рис. 2). Затем полоску парафинируют, в вырезы на концах полоски закрепляют кусочки камфоры. В отверстие в середине полоски вставляют проволоку и закрепляют ее на дне кристаллизатора с помощью парафина или пластилина. Затем очень осторожно заливают в кристаллизатор воды до соприкосновения

поверхности воды с камфорой. При этом начинается вращение полоски, напоминающее вращение колеса.

«Опыт с тальком». Берут 2 чашки Петри и наполняют водой. На поверхность воды равномерно насыпают порошок талька. Тальк не смачивается водой и поэтому плавает на поверхности. В одну из чашек Петри в центр слоя талька капают каплю бутилового спирта. Частицы талька смещаются к краю чашки Петри, через некоторое время наблюдаем, что частицы талька снова приближаются к центру. В другую чашку в центр слоя талька наносят каплю олеиновой кислоты, которая растекается на поверхности воды с образованием тонкой пленки и смещает частицы талька к периферии чашки. Пленка олеиновой кислоты остается неподвижной и не позволяет смещаться частицам талька к центру.

Обоснование опыта

а) Наиболее характерные свойства высокодисперсных систем (коллоидного состояния) определяются особым состоянием вещества в поверхностных слоях на границе раздела фаз, в которых сосредоточена основная доля массы и энергии вещества. Условно выделяют границы раздела жидкость/газ, жидкость/жидкость (две нерастворимые друг в друге жидкости), твердое тело/газ, твердое тело/жидкость и т. д. Основные закономерности являются общими для любой границы раздела. Межфазные поверхности могут существовать только при наличии жидкой или твердой фазы. Именно они определяют форму и строение поверхностного слоя – переходной области из одной фазы в другую.

Системы жидкость-газ являются более простыми, т.к. силовым полем в газовой фазе можно пренебречь. Явления, протекающие на границе жидкость-газ, рассматривают с термодинамических позиций и связывают их с изменением поверхностного натяжения (σ). Поверхностное натяжение является следствием действия межмолекулярных сил поверхностных молекул жидкой фазы. Межмолекулярные силы стремятся втянуть поверхностные молекулы в объем жидкости и уменьшить площадь поверхности. Сила, действующая на единицу длины границы раздела и обуславливающая сокращение поверхности жид-

кости, называется *силой поверхностного натяжения*, или просто *поверхностным натяжением* (σ). Единица измерения – Н/м.

С другой стороны, для увеличения поверхности жидкости необходимо затратить работу, связанную с преодолением межмолекулярных сил. Работа, затраченная для создания единицы поверхности, равна удельной свободной энергии поверхности, размерность которой Дж/м². Удельная свободная поверхностная энергия численно равна поверхностному натяжению. Размерности энергетической и силовой характеристики поверхностного натяжения должны совпадать. И действительно: Дж/м² = Н/м.

Под влиянием поверхностного натяжения жидкость при отсутствии внешних сил всегда стремится принять форму шара, т. к. поверхность шара – это наименьшая поверхность, ограничивающая объем, и, следовательно, поверхностная энергия системы будет минимальной. Поверхностное натяжение (σ) будет тем больше, чем сильнее межмолекулярное взаимодействие. Поэтому на границе раздела твердое тело/жидкость поверхностное натяжение много больше, чем на границе раздела жидкость/газ (воздух) или жидкость/жидкость.

Известны так называемые поверхностно-активные вещества (ПАВ), *снижающие поверхностное натяжение растворителя* σ_0 . По отношению к воде поверхностно-активными (ПАВ) являются органические соединения с функциональными группами: кислоты и их соли, спирты, аминокислоты, амины, белки и др. ПАВ менее полярны, чем вода, и имеют меньшее поверхностное натяжение. Для ПАВ σ снижается с ростом концентрации ПАВ и изменением $d\sigma/dc < 0$. Тогда в соответствии с уравнением Гиббса адсорбция $\Gamma_2 > 0$, т.е. адсорбция положительная – концентрация ПАВ в поверхностном слое больше, чем в объемной фазе. Наличие неполярного радикала у молекул ПАВ затрудняет их проникновение в объем воды. Наоборот, молекулы воды стремятся вытолкнуть их в поверхностный слой. Значительное понижение σ наблюдается в области малых концентраций, что связано с малым объемом поверхностного слоя в сравнении с объемом жидкой фазы.

Адсорбционные слои ПАВ на поверхности воды обладают поверхностным давлением (π), которое возникает при распространении молекул органического соединения по поверхности воды. Поверхностное давление – это работа изменения свободной энергии при замене поверхности чистой воды (σ_0) на поверхность, занятую молекулами ПАВ (σ), отсюда $\pi = \sigma_0 - \sigma$.

Бутиловый спирт, использованный в демонстрационном опыте, также является поверхностно-активным веществом и значительно понижает поверхностное натяжение воды. При нанесении капли бутилового спирта (C_4H_9OH) под корму кораблика снижается поверхностное натяжение воды, возникает поверхностное давление, вызывающее движение кораблика.

Адсорбционная способность и возможность понижать поверхностное натяжение зависят от длины углеводородного радикала молекулы ПАВ. С ростом длины радикала указанные свойства возрастают. Кроме того, изменяется структура адсорбционного слоя ПАВ. Так, в случае бутилового спирта молекулы ПАВ при достаточно большой поверхности воды рассеиваются по поверхности на некотором расстоянии друг от друга. Полярные группы молекулы будут погружены в воду, а углеводородные радикалы располагаются на поверхности воды «плашмя». Для олеиновой кислоты ($C_{17}H_{33}COOH$) характерно самопроизвольное растекание по поверхности воды, и при большой длине радикала растет взаимодействие и слипание молекул (боковая когезия). Молекулы образуют конденсированные адсорбционные слои, в которых молекулы ориентированы перпендикулярно к поверхности воды (полярной группой к поверхности воды, углеводородным радикалом в газовую фазу), что приводит к выталкиванию «ядра» и торможению движения кораблика.

б) Камфора – кетон терпенового ряда, бесцветные легколетучие кристаллы с характерным запахом слабо растворимы в воде. Однако, растворяясь в воде, камфора понижает поверхностное натяжение воды на границе с собой. Даже при малой растворимости камфоры понижение поверхностного натяжения воды много больше в сравнении с мылами. При этом возникает по-

верхностное давление, вызывающее движение «кораблика», частиц камфоры по поверхности воды.

В случае опыта «Двумерное колесо» частицы камфоры находятся на разных концах изогнутой парафинированной полоски, частички камфоры имеют неправильную форму. Ее растворение вдоль периметра протекает неравномерно, и это приводит к вращению полоски с камфорой.

Опыт 4

«РТУТНОЕ СЕРДЦЕ»

(Влияние образования заряженных ионов на поверхности ртути на поведение капли ртути)

Для проведения опыта необходимы:

- 1) штатив;
- 2) часовое стекло с диаметром около 10 см;
- 3) железный стержень (гвоздь, толстая проволока), отточенный с образованием острия на конце, который тщательно очищается от оксидной пленки;
- 4) концентрированная серная кислота (H_2SO_4);
- 5) раствор бихромата калия ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$);
- 6) тщательно очищенная ртуть.

Порядок проведения опыта

На часовое стекло налить такое количество ртути, чтобы образовалась плоская капля ртути с диаметром (1,5–2 см). Затем на поверхность капли ртути нанести тонкий слой, полностью закрывающий поверхность капли, раствора серной кислоты с несколькими каплями раствора бихромата калия. Железный стержень укрепить в штативе так, чтобы его острие только касалось острия стержня, добиться ритмического сжатия и расширения ртутной капли. При правильном подборе положения острия стержня и величины капли можно наблюдать красивую длительную картину движения капли. В процессе колебательного движения капли форма капли может быть самой различной – треугольник, овал, сердце, ромб и т.д.

Обоснование опыта

Межмолекулярное взаимодействие молекул ртути достаточно сильное, и, соответственно, его поверхностное натяжение (475 мДж/м^2) много выше в сравнении с поверхностным натяжением воды ($72,3 \text{ мДж/м}^2$). В растворе серной кислоты (+ $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) протекает реакция, приводящая к образованию на поверхности капли ионов ртути:

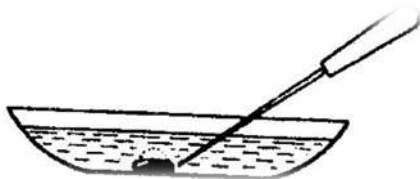
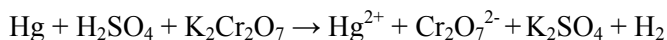
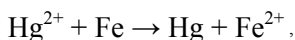


Рис. 3. Ртутное сердце

При соприкосновении с железным стержнем поверхность капли разряжается:



что приводит к увеличению поверхностного натяжения и сжатию капли. При сжатии капля отходит от железного стержня, и на поверхности капли вновь формируются ионы. Силы отталкивания между ионами понижают поверхностное натяжение, и капля растекается, касается острия железного стержня и снова разряжается. Разрядка приводит к сжатию капли. Описанный процесс повторяется многократно, до тех пор пока не произойдет разрушение острия стержня – появление ржавчины и последующего растворения. Этот опыт наглядно показывает зависимость поверхностного натяжения от заряда поверхности.

На твердых поверхностях, особенно кристаллов, в зависимости от заполнения граней кристаллов атомами или ионами и, соответственно, интенсивности действия молекулярных сил, разным граням характерны разные значения поверхностного натяжения.

Опыт 5

АДСОРБЦИЯ РАСТВОРЕННЫХ В ВОДЕ ВЕЩЕСТВ НА ПОВЕРХНОСТИ ТВЕРДЫХ АДСОРБЕНТОВ

Для проведения опыта необходимы:

- 1) активированный уголь;
- 2) водные растворы красителей фуксина и метиленовой сини;
- 3) этиловый спирт;
- 4) мерные цилиндры на 500 мл (4 шт.);
- 5) воронки (2 шт.);
- 6) фильтровальная бумага.

Порядок проведения опыта

В 2 мерных цилиндра насыпать в каждый по 15–20 г активированного угля, сверху в каждый цилиндр налить 200 мл водного раствора определенного красителя. После этого цилиндры интенсивно встряхивать, взбалтывать до полного обесцвечивания растворов красителей. Затем взять 2 чистых цилиндра, поместить в них воронки с фильтровальной бумагой. Содержимое цилиндров с активированным углем перелить на фильтровальную бумагу, по возможности размещая на фильтре весь уголь. После окончания фильтрации, воронки с углем в каждом цилиндре разместить так, чтобы кончик воронки касался стенок цилиндра. Придерживая воронку рукой, налить на поверхность угля этиловый спирт. После этого можно наблюдать появление капель красителя на стенках цилиндра и далее на поверхности фильтрата. На поверхности фильтрата должен образоваться слой спиртового раствора красителей.

Обоснование опыта

Адсорбция – очень распространенное явление, широко используемое для очистки, разделения, концентрирования как газов, так и жидких сред. В общем случае адсорбция – это концентрирование вещества на поверхности раздела фаз (увеличение концентрации вещества на поверхности в сравнении с объемом). Основной особенностью твердых адсорбентов является их *пористость* (Π) – отношение суммарного объема пор V_n к об-

щему объему адсорбента $V_{об}$, т. е. $\Pi = V_n/V_{об}$. Поэтому адсорбенты делят на две группы: *пористые* и *непористые*. Пористость значительно повышает удельную поверхность пористого адсорбента в сравнении с непористыми адсорбентами. Классическим пористым адсорбентом является *активированный уголь*. Известны разнообразные методы активации и промышленного получения угольных адсорбентов с высокой удельной поверхностью (до $4 \cdot 10^5$ м²/кг) и объемом его пор порядка $5 \cdot 10^{-3}$ м³/кг. Угольные микропористые адсорбенты получают путем высокотемпературной обработки без доступа воздуха природных углей, древесины, торфа и других веществ, богатых углеродом. После дополнительной обработки паром для очистки пор и иногда введением функциональных групп для увеличения адсорбционной способности получают активированный уголь.

Состав, структура, размер и форма пор влияют не только на количество адсорбированного вещества, но и на механизм адсорбции. В зависимости от природы сил, действующих между твердой поверхностью и адсорбированным веществом, различают физическую и химическую адсорбцию. Хемосорбция сопровождается химической реакцией, но протекающей в пределах поверхностного слоя, например, взаимодействие Fe с O₂, Ag с Cl₂ и т. д. Физическая адсорбция и хемосорбция трудно различимы. В практическом случае они различаются по теплоте адсорбции – величина теплоты физической адсорбции составляет 4–40 кДж/моль, а для химической – 40–400 кДж/моль.

Состояние равновесия адсорбционного процесса характеризуется равенством скорости адсорбции и скорости противоположного процесса десорбции. Скорости указанных процессов зависят от доли (θ) поверхности, занятой адсорбированными молекулами. Число адсорбированных молекул пропорционально доле свободной поверхности ($1-\theta$), и число десорбированных молекул зависит только от доли занятой поверхности.

В данном демонстрационном опыте быстрое обесцвечивание раствора свидетельствует об активной адсорбции молекул красителя на поверхности частиц угля. В состоянии равновесия процесс десорбции можно ускорить использованием веществ, обладающих большей адсорбционной способностью на данном

адсорбенте. В качестве десорбирующего агента использован этиловый спирт. Короткий углеводородный радикал (C_2H_5OH) позволяет проникать молекулам этилового спирта в тонкие поры активированного угля и вытеснять с поверхности адсорбированные молекулы красителя. Быстрое вытеснение молекул красителя свидетельствует о протекании физической адсорбции в результате действия вандерваальсовских сил.

Явление адсорбции из растворов используется для разделения многокомпонентных систем. Этот метод анализа и разделения называется хроматографией, разработан русским ученым Цветом. При пропускании раствора хлорофилла через колонку с адсорбентом компоненты раствора адсорбируются на разной высоте колонки. После промывания проявляются окрашенные зоны, которые располагаются сверху вниз в порядке уменьшения адсорбционной способности компонентов. Разрезав колонку по зонам, используя десорбтив, можно разделить компоненты.

Опыт 6

ЯВЛЕНИЕ СМАЧИВАНИЯ

Для проведения опыта необходимы:

- 1) две коробки из медной сетки с отверстиями диаметром 1 мм;
- 2) парафин;
- 3) тонкая алюминиевая пластинка;
- 4) вазелин.

Порядок проведения опыта:

а) *парафиновое сито* – предварительно из медной сетки с отверстиями диаметром 1 мм сгибают две прямоугольные коробки, углы которых можно пропаять оловом. Коробки парафинируют, поочередно опуская в расплавленный парафин. Затем коробки вынимают и после охлаждения проверяют, полностью ли закрыты отверстия парафином. Одну коробку оставляют с закрытыми отверстиями. Дно другой коробки для освобождения отверстий от парафина слегка подогревают и дуют в нее. По-

казывают, что коробка с закрытыми отверстиями не пропускает воду. Затем обе коробки помещают в большой кристаллизатор, заполненный водой. Наблюдают плавание парафинированной коробки по поверхности воды, другая коробка с открытыми отверстиями опускается на дно;

б) *плавание тяжелых тел* – алюминиевую пластинку или диск толщиной 0,8–1 мм осторожно опускают на поверхность воды, налитой в большой кристаллизатор. Пластинка (диск) опускается на дно. Затем пластинку (диск) достают из воды, вытирают и смазывают вазелином. После этого пластинку (диск) кладут на поверхность воды и наблюдают, как пластинка (диск) плавает по поверхности воды. Пластинка (диск) может быть нагружена и оставаться на поверхности воды. Так, если диаметр диска около 30 см, то на него можно положить груз весом около 90–95 грамм. Чем больше диаметр диска, тем большую нагрузку он выдерживает.

Обоснование опыта

Большой практический интерес представляют системы, состоящие из трех фаз, например, капля жидкости на твердой поверхности. В таких системах фазы разделены и в то же время связаны тремя поверхностными слоями с соответствующими значениями поверхностного натяжения σ . Соотношение последних определяет условие сосуществования трех объемных фаз.

При нанесении капли жидкости на твердую поверхность ее поведение зависит от соотношения поверхностных натяжений –

$\sigma_{тг}$, $\sigma_{тж}$. Если $\sigma_{тг} > \sigma_{тж}$, то происходит замена поверхности с большей свободной энергией на поверхность с меньшей свободной энергией. Это приведет к растеканию жидкости и соответственно к уменьшению запаса свободной энергии системы. Одновременно будет происходить увеличение свободной энергии на границе ж/г, и остановка процесса возможна при значениях $\sigma_{тг} - \sigma_{тж} \sim \sigma_{жг}$, либо неограниченное растекание при $\sigma_{тг} - \sigma_{тж} > \sigma_{жг}$, т. е. смачивание.

При $\sigma_{тг} < \sigma_{тж}$ капля не растекается, понижение свободной энергии системы будет происходить при уменьшении площади контакта капли жидкости с твердым телом. Это случай несмачивания жидкостью, в частности, водой поверхности твердого тела (тефлон, парафин, воск и т. д.).

а) Парафинированная коробка не смачивается водой (угол смачивания около 108°), не опускается на дно кристаллизатора, а продолжает оставаться на поверхности воды.

б) Поверхность алюминия (и многих других металлов) покрыта окисной пленкой, на которой наблюдается растекание капли воды (угол смачивания $\sim 35\text{--}40^\circ$). Поэтому хорошо смачиваемая водой пластинка опускается на дно кристаллизатора. При смазывании поверхности алюминиевой пластинки (диска) вазелином происходит гидрофобизация поверхности и несмачивание водой. В результате пластинка (диск) не опускается на дно кристаллизатора и продолжает оставаться на поверхности воды.

Опыт 7

ФЛОТАЦИОННОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ МИНЕРАЛОВ

Для проведения опыта необходимы:

- 1) 4 мерных цилиндра на 100 мл с пробками;
- 2) измельченный активированный уголь;
- 3) тонкоизмельченный порошок мела;
- 4) бензол;
- 5) четыреххлористый углерод;
- 6) вода.

Порядок проведения опыта

Наиболее мелкую пылевидную фракцию мела и угля удаляют. Затем смешивают равные количества (по 2,5 г) мела и угля, тщательно перемешивают. В три цилиндра наливают равные объемы воды и бензола (по 40 мл воды и бензола). В

первый цилиндр засыпают 2,5 г порошка мела, во второй цилиндр – 2,5 г угля, в третий цилиндр – смесь мела и угля (5 г). В четвертый цилиндр заливают по 40 мл воды и четыреххлористого углерода и добавляют 5 г смеси мела и угля. Затем цилиндры закрывают пробкой, тщательно перемешивают и оставляют на несколько минут. По истечении 5–10 минут можно наблюдать переход частиц мела в водную фазу (1-й цилиндр – нижний слой), угля в фазу бензола (2-й цилиндр – верхний слой). В 3-м цилиндре разделение смеси мела и угля протекает в соответствии с размещением частиц в 1 и 2 цилиндрах. В четвертом цилиндре – наоборот: частицы мела размещаются в верхнем слое двухфазной системы (рис. 4 а), а в нижнем слое – частицы угля (рис. 4 б).

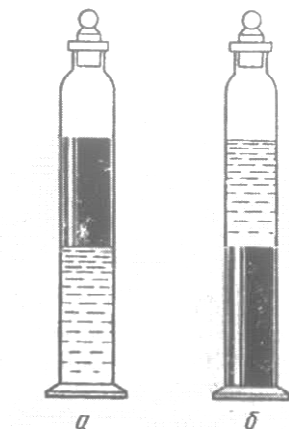


Рис. 4. Разделение мела и угля при изменении природы органической фазы а – бензол (верхний слой); б – четыреххлористый углерод (нижний слой)

Обоснование опыта

Наиболее масштабный технологический процесс, основанный на избирательном смачивании, – это *флотация*.

Флотация – это процесс обогащения минерального сырья, т.е. отделение ценного компонента руды от пустой породы. Все виды флотации основаны на одном принципе – различие

смачиваемости водой частиц ценных минералов и пустой породы. Гидрофильные частицы пустой породы под действием поверхностного натяжения на границе вода-воздух (или вода-масло) втягиваются в воду и оседают на дно. Гидрофобные частицы под действием поверхностного натяжения остаются на границе раздела фаз вода-воздух (или вода-масло) (рис. 5).

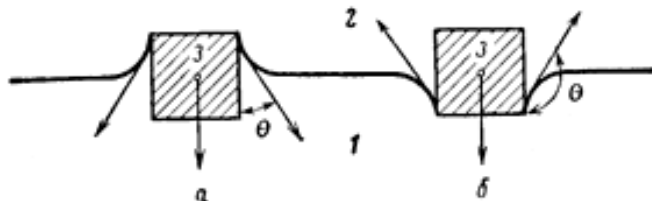


Рис. 5. Разделение гидрофильных (а) и гидрофобных (б) частиц при флотации
1 – водная фаза; 2 – воздух или масло; 3 – твердое тело

В промышленных технологических процессах флотации основная задача создать условия для закрепления частиц минерала на границе раздела вода-воздух (вода-масло). *Флотирующая сила* (f), удерживающая частицу минерала, определяется соотношением:

$$f = \sigma_{тжс} + \sigma_{жсг} - \sigma_{тг} = \sigma_{жсг} (1 - \cos \theta) > 0 \quad (2)$$

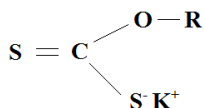
Оптимальный размер частиц руды при флотации составляет $(0,15-0,01)10^{-3}$ м. Флотирующая сила должна превышать силу тяжести, т.е. вес частицы mg . Это условие выполняется при уменьшении размера частиц.

В представленном демонстрационном опыте частицы мела полярные соединения по природе хорошо смачиваются водой, поэтому они оседают в водной фазе (1-й цилиндр). Гидрофобные частицы угля хорошо смачиваются бензолом и размещаются в органической фазе (2-й цилиндр). Разделение смеси мела и угля основано на различии их избирательной смачиваемости жидкостями (вода, бензол) и разделение происходит в соответствии с размещением этих частиц в 1-м и 2-м цилиндрах. На

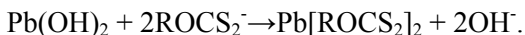
первый взгляд можно принять, что разделение мела и угля происходит в результате механического разделения. Тяжелые частицы мела (плотность частиц мела $2,27 \text{ г/см}^3$, угля – $1,7 \text{ г/см}^3$) оседают и накапливаются в нижнем слое.

Однако разделение смеси в четвертом цилиндре позволяет подтвердить, что в опыте имеет место не просто механическое разделение. В 4-м цилиндре в нижнем слое находится четыреххлористый углерод, плотность которого равна $1,5939 \text{ г/см}^3$ и превышает плотность воды – $0,9982 \text{ г/см}^3$. Разделение смеси протекает в соответствии с избирательным смачиванием гидрофобных частиц угля четыреххлористым углеродом. Уголь накапливается в фазе малополярной жидкости (нижняя часть цилиндра), гидрофильные частицы мела – в водной фазе (верхняя часть цилиндра).

Обычно ценные компоненты руды представляют сульфиды металлов, которые плохо смачиваются водой, а пустая порода (кварц, алюмосиликаты) хорошо смачивается водой. Разность в смачиваемости водой частиц ценного минерала и пустой породы обычно не очень большая, поэтому для повышения эффективности флотации применяют *коллекторы* или *собиратели*. Это органические вещества с дифильной молекулой (ПАВ-ы), способные адсорбироваться на поверхности частиц ценного минерала полярной частью молекулы, а углеводородным радикалом в водную фазу. В результате адсорбции ПАВ гидрофобность частиц ценного минерала возрастает, и отделение от пустой породы проходит более интенсивно. При флотации свинцовых и медных руд используют ксантогенаты с общей формулой:



где R – углеводородный радикал, Me – щелочной металл (чаще всего калий). На поверхности частиц свинцовых руд гидрофобная пленка образуется в результате реакции:



На практике установлено, что флотация оптимальна при малых концентрациях коллектора. При больших концентрациях увеличивается гидрофобность частиц минерала, но при этом происходит стабилизация трехфазной границы твердое/жидкость/воздух, и разделение затрудняется.

Для регулирования *пенообразования* используют *пенообразователи* (чаще всего алифатические спирты), которые не влияют на смачиваемость частиц, а адсорбируются на границе пузырек воздуха/вода. Наряду с коллекторами и пенообразователями используют *депрессоры* и *активаторы* – реагенты, варьирующие действие коллектора. Все реагенты, применяемые в процессе флотации, называют *флотореагентами*.

Опыт 8

«КОЛЬЦА ЛИЗЕГАНГА»

(Ритмические структуры, периодические коллоидные структуры)

Для проведения опыта необходимы:

- 1) желатин;
- 2) бихромат калия ($K_2Cr_2O_7$);
- 3) 8,5%-ный водный раствор нитрата серебра ($AgNO_3$);
- 4) хлорид магния ($MgCl_2$);
- 5) концентрированный раствор аммиака (NH_4OH);
- 6) мерные цилиндры на 100–150 мл с притертой пробкой (4 шт.);
- 7) стеклянная пластинка длиной (l) 10–15 см.

Порядок проведения опыта:

а) 4 г желатина растворить при нагревании в 120 г воды, к которой предварительно было добавлено 0,12 г бихромата калия. После полного растворения компонентов раствор приобретает желтый цвет. (При необходимости весовое количество компонентов можно увеличить в одинаковое число раз.) Полученный раствор залить в узкий мерный цилиндр, и после охлаж-

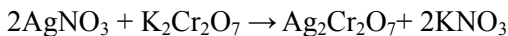
дения (в течение 2–3 часов) в цилиндре формируется гель. На поверхность геля осторожно налить раствор AgNO_3 слоем толщиной 2 см. Через сутки можно наблюдать образование темно-коричневых концентрических колец на разной высоте цилиндра с различными расстояниями между ними. Толщина концентрических колец уменьшается по мере формирования их все ближе к дну мерного цилиндра;

б) формирование концентрических колец можно наблюдать при формировании их в чашках Петри. Налить раствор желатина, полученный в присутствии бихромата калия в чашку Петри. После охлаждения и образования геля в центр гелевого слоя капнуть 5–6 капель водного раствора нитрата серебра. Поместить чашку Петри в холодильник, и через сутки можно увидеть образование темно-коричневых концентрических колец на различном расстоянии от центра и уменьшающейся толщиной по мере приближения к краю чашки Петри;

в) состав геля можно изменять. Растворить желатин в воде, содержащей хлорид магния вместо бихромата калия, и перелить раствор в узкий мерный цилиндр. После охлаждения и образования геля сверху в цилиндр налить концентрированный раствор аммиака. Через сутки образуются хорошо выраженные концентрические кольца (слои) белого цвета, напоминающие таблетки, на различной высоте цилиндра. Толщина слоев уменьшается по мере формирования слоев ближе к дну мерного цилиндра.

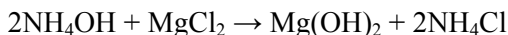
Обоснование опыта

Образование концентрических колец (ритмически чередующихся со слоями свободными от осадка) впервые наблюдал Лизеганг, что и определило название «кольца Лизеганга». Структура геля при достаточном количестве раствора способствует процессу диффузии низкомолекулярных веществ по всему объему геля и предотвращает при этом возникновение конвективных потоков. В процессе диффузии взаимодействие нитрата серебра (AgNO_3) с бихроматом калия ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) протекает с образованием нерастворимого в воде $\text{Ag}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$:



Выпадение осадка формирует кольцевидные отложения хромовокислого серебра ($\text{Ag}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$). При этом осадок притягивает весь избыток образовавшейся нерастворимой соли, и осадок уплотняется. В зоне осадка молекулы AgNO_3 и $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ практически отсутствуют. Процесс диффузии молекул AgNO_3 из верхнего слоя водного раствора над гелем продолжается и требует определенного времени. При достижении молекулами нитрата серебра зоны с определенным количеством бихромата калия снова образуются концентрические кольца (ритмические осадки) нерастворимой соли $\text{Ag}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$. Этот процесс продолжается до полной диффузии молекул AgNO_3 из верхнего водного раствора над гелем и формирования концентрических колец.

Формирование ритмических осадков в геле желатина в присутствии хлорида магния также можно объяснить образованием осадка при взаимодействии аммиака и хлорида магния по реакции:



В соответствии с данной реакцией при диффузии хлорида магния образуется нерастворимый гидроксид магния. Выпадение осадка приводит к формированию концентрических колец $\text{Mg}(\text{OH})_2$, чередующихся с чистыми (без осадка) слоями геля. Механизм образования последующих концентрических колец соответствует вышеописанному для $\text{Ag}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$. Расстояния между слоями увеличивается по мере приближения ко дну мерного цилиндра.

Опыт 9

«КОЛЛОИДНЫЙ САД»

Для проведения опыта необходимы:

- 1) силикатный клей – обычный канцелярский клей светлого цвета;
- 2) соли в кристаллическом состоянии (сульфат меди, нитрат кобальта, хлорид магния, сульфат магния, сульфат никеля, хлорид магния, хлорид железа);

- 3) химический стакан объемом 200 мл;
- 4) стеклянная палочка длиной 15 см.

Порядок проведения опыта

Предварительно разбавить клей водой в 2 раза, отфильтровать через бумажный фильтр (красный). 150 мл раствора налить в стакан объемом 200 мл. Затем с помощью пинцета поместить крупные кристаллы солей на некотором расстоянии друг от друга на дне стакана. С помощью стеклянной палочки ускорить падение кристаллов на дно стакана. Через некоторое время от кристаллов каждой соли поднимаются окрашенные тонкие «нити» различных причудливых интересных форм. При достижении «нитей» солей поверхности клея образуется очень красивая картина, напоминающая колонии кораллов, водорослей на морских глубинах.



Рис. 6. Коллоидный сад

Обоснование опыта

Силикатный клей готовят из «жидкого стекла», представляющего собой концентрированный раствор силиката натрия (или калия). Силикаты натрия (калия) получают сплавлением оксида кремния с щелочами. В результате гидролиза растворы

этих солей имеют щелочную среду. Силикатный клей представляет собой гель, пространственная сетка геля способствует диффузии молекул солей и предотвращает возникновение конвективных потоков. Поэтому рост «нитей» происходит в вертикальном направлении, и скорость роста определяется коэффициентом диффузии молекул солей. Из приведенных солей наиболее быстрый рост «нитей» наблюдается для FeCl_3 .

КОАГУЛЯЦИЯ И СТАБИЛИЗАЦИЯ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ

(Общие положения)

При рассмотрении вопроса устойчивости необходимо провести различие между устойчивостью лиофильных коллоидов и лиофобных коллоидов.

Лиофильные коллоиды – молекулярные коллоиды, а также лиофильные суспензии (глины, мыла) – диспергируются самопроизвольно, образуя термодинамически устойчивые системы. По Ребиндеру, критерием лиофильности служит выражение

$$\Delta F_s = \Delta U - T\Delta S < 0. \quad (1)$$

Увеличение энтропии в процессе самопроизвольного диспергирования обычно способствует уменьшению ΔF_s , поскольку система приходит к более равномерному распределению дисперсной фазы в среде ($\Delta S_{\text{смешения}} > 0$).

Баланс внутренней энергии ΔU в процессе диспергирования складывается из затраты энергии на разрыв межмолекулярных связей с образованием новой поверхности (работа когезии W_c) и выигрыша в результате межфазного сольватационного взаимодействия (работа адгезии W_a). Для лиофильных систем $W_a > W_c$, а это означает, что внутренняя энергия системы уменьшается в результате диспергирования ($\Delta U < 0$). В итоге поверхностная свободная энергия ΔF_s снижается, что обеспечивает лиофильным системам неограниченную устойчивость.

Лиофобные коллоиды характеризуются энергией связи внутри дисперсной фазы значительно большей, чем энергия межфазного взаимодействия ($W_c \gg W_a$) и это различие не компенсируется энтропийным фактором:

$$\Delta F_s = \Delta U - T\Delta S > 0. \quad (2)$$

В этом случае диспергирование не идет самопроизвольно, а требует затраты внешней работы. Лиофобные системы термодинамически неустойчивы и обладают значительным поверхностным натяжением (σ) на межфазной границе ($W_a - \min$). Таким образом, для лиофобных систем проблема устойчивости имеет первостепенное значение.

Обычно под устойчивостью дисперсных систем (золей, суспензий) понимают способность сохранять неизменным во времени размер частиц и равномерное распределение частиц в дисперсионной среде. Потеря агрегативной устойчивости (способность сохранять дисперсность и индивидуальность частиц) в результате коагуляции приводит к разрушению дисперсной системы. Действие тепла и холода, электромагнитных полей, жестких излучений, механического воздействия, введение электролитов приводят к коагуляции. Современная теория устойчивости ДЛФО (Дерягин, Ландау, Фервей, Овербек), получившая всеобщее признание, рассматривает процесс коагуляции как результат совместного действия вандер-ваальсовых сил притяжения и электростатических сил отталкивания между частицами. В зависимости от баланса этих сил в тонкой прослойке между сближающимися частицами возникает либо положительное «расклинивающее давление», препятствующее сближению, либо отрицательное, приводящее к утончению прослойки и образованию контакта между частицами.

Силы притяжения носят общий характер. В отличие от сил молекулярного притяжения между отдельными атомами или молекулами **силы притяжения между коллоидными частицами убывают гораздо медленнее**, так как все лиофобные суспензии могут быть скоагулированы при устранении сил отталкивания

между коллоидными частицами. Энергетический барьер, препятствующий коагуляции частиц, определяется толщиной двойного электрического слоя дисперсных частиц. Введение электролита в дисперсную систему приводит к уменьшению толщины ДЭС, что затрудняет перекрытие двойных слоев сближающихся частиц и проявлению сил электростатического отталкивания.

Общий вид кривых потенциальной энергии взаимодействия дисперсных частиц представляет собой кривую с положительным максимумом (U_{\max} – энергетический барьер) и отрицательным минимумом (U_{\min} – дальнотействующее притяжение). Расстояния между частицами, на которых возникают максимумы (U_{\max}) и минимумы (U_{\min}), по порядку величины должны совпадать с толщиной ДЭС, определяющей радиус действия сил отталкивания. Будут ли силы отталкивания преобладать над силами притяжения, зависит от численных значений констант, определяющих силы притяжения и отталкивания.

Суммарная энергия взаимодействия определяется концентрацией и величиной заряда противоионов, потенциалом поверхности, величиной постоянной Гамакера. С увеличением концентрации электролита, заряда противоиона высота барьера (U_{\max}) снижается в результате сжатия диффузной части двойного слоя и при определенной концентрации исчезает, а частицы получают возможность беспрепятственно слипаться.

При постоянных потенциале поверхности и концентрации электролита увеличение постоянной Гамакера, учитывающей только притяжение молекул, частиц, уменьшает высоту энергетического барьера.

Опыт 10

КОАГУЛЯЦИЯ ЗОЛЕЙ ЭЛЕКТРОЛИТАМИ

Для проведения опыта необходимы:

- 1) цилиндры объемом 200 мл (4 шт.);
- 2) пипетки объемом 20 мл (4 шт.);

- 3) золь MnO_2 ;
- 4) 0,01 н раствор хлористого калия (KCl);
- 5) 0,01 н раствор хлористого бария (BaCl_2);
- 6) 0,01 н раствор хлористого алюминия (AlCl_3).

Порядок выполнения опыта

Золь диоксида марганца разбавляют в пропорции 1:2, затем наливают по 100 мл разбавленного золя в 4 цилиндра. В первый цилиндр наливают 20 мл дистиллированной воды, во второй цилиндр – 20 мл 0,01 н раствора KCl , в третий цилиндр – 20 мл 0,01 н раствора BaCl_2 , в четвертый цилиндр – 20 мл 0,01 н раствора AlCl_3 . Цилиндры закрывают притертыми пробками, для перемешивания содержимого встряхивают (переворачивают) цилиндры. После этого цилиндры рассматривают на фоне белого экрана. В первом и втором цилиндрах заметного изменения цвета золя не происходит, в третьем цилиндре наблюдается помутнение золя и изменение цвета, в четвертом можно наблюдать образование осадка. Таким образом, одинаковые количества коагулирующих ионов K^+ , Ba^{2+} , Al^{3+} оказывают различное коагулирующее действие на золь диоксида марганца.

Обоснование опыта

Из всех факторов, вызывающих коагуляцию, основное внимание уделяется действию электролитов. Коагуляция вызывается ионом, знак заряда которого противоположен заряду коллоидной частицы, т. е. противоионом. Коагуляция наступает при определенной критической концентрации c_k электролита, называемой *порогом коагуляции*.

Порог коагуляции находится в строгой зависимости от величины заряда противоиона. Было найдено, что для одновалентных противоионов пороги коагуляции находятся между 25 и 100 миллимолями, для двухвалентных – 0,5–2 миллимоля, для трехвалентных – в пределах 0,01–0,1 миллимоля на литр. Эта закономерность известна как правило Шульце-Гарди, которое не устанавливает прямой пропорциональной зависимости между валентностью иона и его коагулирующей способностью. Коагулирующая сила возрастает гораздо быстрее величины заряда иона.

Согласно теории ДЛФО при достижении концентрации электролита соответствующей порогу коагуляции c_k выполняется «закон шестой степени» $c_k = \text{const} / z^6$. Значения порогов коагуляции для одно-, двух-, трехзарядных ионов относятся как:

$$1:(\frac{1}{2})^6:(\frac{1}{3})^6:(\frac{1}{4})^6=1:0,016:0,0013.$$

Коагулирующая способность ($V_k=1/c_k$) ионов относится между собой как 1:64:729 и хорошо согласуется с правилом Шульце-Гарди. Из «закона шестой степени» следует, что чем выше заряд противоиона, тем меньше порог коагуляции и больше коагулирующая способность иона. В данном демонстрационном опыте на отрицательно заряженный золь диоксида марганца коагулирующее действие оказывают противоионы – K^+ , Ba^{2+} , Al^{3+} . Коагулирующая способность иона бария в 64 раза выше иона калия, а коагулирующая способность иона алюминия выше иона калия в 729 раз. При одинаковой концентрации противоионов увеличение коагулирующего действия с повышением величины заряда противоиона сохраняется. Поэтому интенсивность процесса коагуляции – прозрачный золь (1-й цилиндр), помутнение золя (2-й цилиндр), образование осадка (3-й цилиндр) – подтверждает закономерность «закона шестой степени».

Опыт 11

ГЕТЕРОКОАГУЛЯЦИЯ

(взаимная коагуляция золей)

Для проведения опыта необходимы:

- 1) цилиндры емкостью 250 мл с притертыми пробками (3 шт.);
- 2) золь гидроксида железа ($Fe(OH)_3$);
- 3) золь трехсернистого мышьяка (As_2S_3).

Порядок выполнения опыта

Для длительного хранения золи гидроксида железа и сернистого мышьяка должны быть очищены от избытка электролита методом диализа. В первый цилиндр объемом 250 мл наливают 200 мл золя $\text{Fe}(\text{OH})_3$, во второй цилиндр наливают 150 мл золя, в третий наливают 200 мл в 2 раза разбавленного золя As_2S_3 .

Золь гидроксида железа в 1-м цилиндре и золь сернистого мышьяка в 3-м цилиндре служат контрольными.

Во второй цилиндр с 150 мл золя $\text{Fe}(\text{OH})_3$ добавляют 50 мл разбавленного и диализованного золя As_2S_3 . Затем в данном цилиндре в сравнении с контрольными наблюдают образование осадка в результате взаимной коагуляции зольей.

Обоснование опыта

Большой интерес для теории и практики представляет взаимодействие различающихся по составу (или по величине) частиц. В этом случае протекает *гетерокоагуляция* – сцепление частиц разной природы. Один из типичных случаев гетерокоагуляции – это так называемая *взаимная коагуляция* разноименно заряженных частиц. Разноименно заряженные частицы притягиваются друг к другу, и притяжение тем сильнее, чем больше эффективный заряд частицы, когда диффузные слои противоионов имеют значительную толщину. *В демонстрационном опыте мицеллы золя гидроксида железа заряжены положительно, мицеллы золя трехсернистого мышьяка – отрицательно. Поэтому во втором цилиндре происходит полная взаимная коагуляция обеих зольей. Образовавшийся осадок состоит из частиц золя $\text{Fe}(\text{OH})_3$ и As_2S_3 . Взаимная коагуляция зольей в основном протекает при низких концентрациях электролита.* Поэтому для наблюдения взаимной коагуляции разноименно заряженных зольей необходимо использовать отдиализованные золи. Процесс гетерокоагуляции часто используют для очистки воды от взвешенных частиц. Введение противоположно заряженных частиц приводит к взаимной коагуляции и осаждению взвешенных частиц.

Однако необходимо всегда учитывать, что при гетерокоагуляции силы притяжения и отталкивания проявляются как между

одинаково, так и противоположно заряженными частицами. Природа сил, действующих между различными частицами, не изменяется. Однако суммарное действие этих сил в процессе гетерокоагуляции (взаимодействие разноименно заряженных частиц) может привести к изменению их знака. Так, большие силы притяжения между одинаковыми частицами могут привести к отталкиванию противоположно заряженных частиц. При введении электролита электростатическое притяжение между частицами с разными знаками заряда также будет снижаться, что должно способствовать стабилизации системы. Такое поведение системы при гетерокоагуляции подтверждено в экспериментах Ю.М. Чернобережского. Система Au-Fe(OH)_3 при малых добавках электролита коагулировала и была устойчивой в области средних концентраций.

Опыт 12

ЗАЩИТНОЕ ДЕЙСТВИЕ ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ ВЕЩЕСТВ

1. Стабилизация золь.

Для проведения опыта необходимы:

- 1) цилиндры объемом 200 мл с притертыми пробками (2 шт.);
- 2) красный золь золота;
- 3) 1%-ный раствор желатина.

Порядок выполнения опыта

В оба цилиндра наливают по 150 мл красного золя золота. Во второй цилиндр добавляют 15 мл 10%-ного раствора желатина. Содержимое цилиндра встряхивают для равномерного распределения по объему цилиндра раствора желатина. Затем из пробирки с концентрированной серной кислотой с помощью стеклянной палочки помещают каплю кислоты в первый цилиндр (без желатина), перемешивают и наблюдают изменение окраски красного золя золота – золь приобретает синий цвет.

При внесении капли концентрированной серной кислоты во второй цилиндр, в который добавлен раствор желатина, не происходит изменения цвета золя золота. Даже многократное внесение капель кислоты не изменяет красного цвета золя золота.

(Защитное действие высокомолекулярных соединений можно наблюдать и на других зольях, в частности диоксида марганца. Предварительно необходимо подобрать концентрацию раствора желатина и коагулирующего электролита $AlCl_3$ для определенного объема золя.)

2. Стабилизация эмульсий.

Для проведения опыта необходимы:

- 1) 2 цилиндра емкостью 200 мл;
- 2) 4%-ный раствор желатина (или 10%-ный раствор сапона);
- 3) подсолнечное масло.

Порядок выполнения опыта

В каждый цилиндр наливают по 200 мл воды и 50 мл подсолнечного масла (или бензола). В один из цилиндров добавляют 2,5 мл 4%-ного раствора желатина. Оба цилиндра встряхивают в течение 5–10 минут для получения однородной смеси. Полученные эмульсии представляют собой желтоватую прозрачную жидкость. В течение нескольких минут наблюдают за изменениями, происходящими в цилиндрах с эмульсиями.

Эмульсия, полученная без добавления желатина (эмульгатора), быстро разрушается – происходит быстрое разделение на 2 фазы: водную и масляную. В цилиндре с добавлением раствора желатина формируется стойкая эмульсия.

Обоснование опытов

Растворы высокомолекулярных соединений типа желатина, белков, крахмала более устойчивы, чем дисперсные системы. Высокомолекулярные соединения в подходящих растворителях являются истинными молекулярными растворами. Другими словами, растворы ВМС представляют гомогенную систему, в которой нет границы раздела фаз. Растворы высокомолекуляр-

ных соединений малочувствительны к прибавлению электролитов. На устойчивости растворов ВМС основано явление защиты дисперсных систем от коагулирующего действия электролитов. При введении малых концентраций ВМС в суспензии (золи) дисперсных систем последние приобретают свойства растворов высокомолекулярных соединений.

1. Стабилизация золей.

Особенностью высокомолекулярных соединений является их сильная адсорбционная способность на многих твердых поверхностях. Вокруг частицы золя существует избыток макромолекул, необходимый для образования монослоя или даже полислоя. Например, адсорбционные слои метилцеллюлозы на частицы полистирола имеют толщину $70-100 \text{ \AA}$.

Адсорбционные слои ВМС создают **структурно-механический барьер**, препятствующий слипанию частиц. Структурирование происходит в результате ориентации молекул по полярности на границе раздела фаз, взаимодействия соседних адсорбированных молекул (образование водородной связи, гидрофобные взаимодействия неполярных радикалов). Прочность полимерных слоев возрастает во времени, что объясняется замедленной диффузией макромолекул и медленной ориентацией на поверхности. Стабилизирующее действие ВМС проявляется при определенной концентрации ($C_{ст}$ -стабилизирующая концентрация), при которой формируются достаточно толстые и прочные адсорбционные слои.

Желатин достаточно быстро адсорбируется на поверхности частиц золота. В водном растворе молекулы желатина сильно гидратированы и при адсорбции на поверхности частиц образуют адсорбционно-гидратные слои большой протяженности и плотности. В результате сильно лиофилизированные частицы золя золота близки по устойчивости к классическим лиофильным системам – суспензии глинистых минералов, растворы высокомолекулярных соединений. Адсорбционно-гидратные слои желатина отличаются высокой вязкостью, упругостью и сопротивлением к сдвигу. При этом поверхностное натяжение на границе адсорбционный слой/дисперсионная среда незначительно

тельно и не возрастает в адсорбционном слое при приближении к поверхности частицы вследствие сильной гидратации макромолекул желатина. Защитное действие белков широко используется на практике. Частицы различного химического состава, защищенные одним и тем же белком, не различаются по поверхностным свойствам.

2. Стабилизация эмульсий

Длительное существование эмульсий возможно только при использовании эмульгаторов, способных формировать адсорбционно-сольватные слои на границе раздела фаз масло/вода (вода/масло). Добавки поверхностно-активных веществ сильно понижают межфазное натяжение и увеличивают продолжительность жизни эмульсий. Однако короткоцепочечные ПАВ-спирты, жирные кислоты с числом атомов углерода $n_c < 8$ не являются эмульгаторами вследствие их высокой растворимости в воде. Длинноцепочечные ПАВ с преобладающими липофильными свойствами преимущественно втягиваются в фазу масла.

Стабилизирующее действие эмульгатора проявляется только при формировании молекулами эмульгатора структурно-механического барьера на границе раздела фаз. Желатин и другие белки могут разворачиваться в адсорбционном слое таким образом, что полярные группы обращены в водную фазу, образуя в ней свободные петли и складки сегментов цепей. Прочность таких белковых слоев на границе вода/масло много выше, чем на границе вода/воздух. Прочность адсорбционных слоев желатина наибольшая в изoeлектрической точке (ИЭТ, при $pH=7$).

Опыт 13

ПОЛУЧЕНИЕ ЗАЩИТНЫХ СЛОЕВ НА ПОВЕРХНОСТИ РТУТИ

Для проведения опыта необходимы:

- 1) 2 кристаллизатора диаметром 10 см и глубиной около 2–4 см;

- 2) чистая ртуть;
- 3) 0,4%-ный водный раствор желатина (или 1%-ный раствор сапонины);
- 4) вода дистиллированная.

Порядок проведения опыта

В кристаллизаторы наливают чистую ртуть толщиной 2 мм. Затем в один кристаллизатор наливают воды, в другой – 0,4%-ный раствор желатина. Толщина слоя раствора желатина над ртутью должна быть в 2 раза больше толщины ртути. Затем шпателем медленно разрезают ртуть, касаясь дна кристаллизатора. Ртуть под водой сразу же снова соединяется. Ртуть под раствором желатина можно медленно разрезать на отдельные кусочки.

Обоснование опыта

Механизм защитного действия желатина на ртуть связан с адсорбцией макромолекул на гидрофобной поверхности ртути и образования тонкой пленки. Макромолекулы в адсорбционном слое ориентированы неполярными радикалами к поверхности ртути, а полярными – к растворителю (в демонстрационном опыте – к воде). Молекулы желатина сильно гидратированы в водных растворах и поэтому формируют на поверхности ртути адсорбционно-гидратные слои, аналогичные устойчивым лиофильным пленочным студням. Такие адсорбционные слои обладают высокой вязкостью, сопротивлением к сдвигу, упругостью и создают структурно-механический барьер, препятствующий слиянию ртути.

Стабилизация, обусловленная особыми структурно-механическими свойствами адсорбционных слоев, может привести к безграничному повышению устойчивости дисперсных систем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Курс коллоидной химии читается на химических факультетах многих университетов и других высших учебных заведений. Коллоидная химия изучает свойства веществ в дисперсном состоянии и поверхностные явления в дисперсных системах. Многие промышленные технологии в значительной степени являются технологией дисперсных систем.

Коллоидное состояние является всеобщим особым состоянием материи. В этом состоянии значительная доля молекул (атомов), составляющих вещество, находится на поверхности раздела фаз и является «особыми» по энергетическому (избыток) состоянию и своему положению в несимметричном силовом поле. Поверхностные явления определяют особые свойства коллоидных систем.

Высокодисперсные системы (коллоиды) невидимы визуально, в обычный микроскоп и свободно проходят через бумажный фильтр. При этом высокодисперсные системы наиболее ярко проявляют отличительные особенности коллоидов: рассеяние света, электрокинетические явления, адсорбция. На межфазной поверхности – поверхностное натяжение, поверхностное давление. Коллоидно-химические свойства, их всеобщность для веществ любой природы может быть реально показана на демонстрационных опытах.

В некоторых учебных пособиях [3, 4] представлено большое число демонстрационных опытов, представляющих описание работ, входящих в общий практикум по коллоидной химии для студентов-химиков всех специальностей. Практически ежегодное обновление технических и программных характеристик персональных компьютеров позволяет на лекции представить презентацию аппаратурного и приборного оформления усложненных схем некоторых демонстрационных опытов (практических лабораторных работ).

В представленном методическом руководстве описаны демонстрационные опыты, для выполнения которых не требуется редких и малодоступных реагентов, использования электрического тока, давления, особой формы химической посуды. Все демонстрационные опыты реальны, показательны, эффектны, и

многие процессы сопровождаются формированием красивых «ритмических структур», опалесцирующих световых конусов, ростом окрашенных тонких «нитей» причудливых форм и т.д. Показ демонстрационных опытов и объяснение механизма наблюдаемых процессов не требует длительного времени. Демонстрационные опыты максимально наглядны и эффектны. Их рекомендуется проводить на первом лабораторном занятии.

Ограниченное число лекционных часов не позволяет провести демонстрацию при чтении курса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фридрихсберг Д.А. Коллоидная химия. – Л.: Химия, Ленинградское отделение, 1984. – 368 с.
2. Григоров О.Н., Карпова И.Ф., Козьмина З.П., Тихомолова К.П., Фридрихсберг Д.А., Чернобережский Ю.М. Руководство к практическим работам по коллоидной химии. Изд. 2-е, дополненное. – М.-Л.: Химия, 1964. – 326 с.
3. Болдырев Л.А. Демонстрационные опыты по физической и коллоидной химии. – М.: Химия, 1965.
4. Товбин М.В., Рустямова Е.В. Лекционные демонстрации к курсу коллоидной химии. – Киев: изд-во Киевского университета, 1967. – 149 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Опыт 1. ПОЛУЧЕНИЕ КОЛЛОИДНЫХ СИСТЕМ (метод замены растворителя, метод реакции двойного обмена)	5
Опыт 2. МЕТОДЫ ОТЛИЧИЯ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ ОТ МОЛЕКУЛЯРНЫХ И ИОННЫХ РАСТВОРОВ (Рассеяние света высокодисперсными частицами – явление опалесценции)	8
Опыт 3. ДВИЖУЩИЙСЯ КОРАБЛИК И ПУШКА (Адсорбция ПАВ на границе раствор-газ, поверхностное натяжение, поверхностное давление)	13
Опыт 4. «РТУТНОЕ СЕРДЦЕ» (Влияние образования заряженных ионов на поверхности ртути на поведение капли ртути)	18
Опыт 5. АДсорбция РАСТВОРЕННЫХ В ВОДЕ ВЕЩЕСТВ НА ПОВЕРХНОСТИ ТВЕРДЫХ АДсорбЕНТОВ	20
Опыт 6. ЯВЛЕНИЕ СМАЧИВАНИЯ	22
Опыт 7. ФЛОТАЦИОННОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ МИНЕРАЛОВ.....	24
Опыт 8. «КОЛЬЦА ЛИЗЕГАНГА» (Ритмические структуры, периодические коллоидные структуры)	28
Опыт 9. «КОЛЛОИДНЫЙ САД»	30
КОАГУЛЯЦИЯ И СТАБИЛИЗАЦИЯ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ (общие положения)	32

Опыт 10. КОАГУЛЯЦИЯ ЗОЛЕЙ ЭЛЕКТРОЛИТАМИ.....	34
Опыт 11. ГЕТЕРОКОАГУЛЯЦИЯ (взаимная коагуляция золей)	36
Опыт 12. ЗАЩИТНОЕ ДЕЙСТВИЕ ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ ВЕЩЕСТВ	38
Опыт 13. ПОЛУЧЕНИЕ ЗАЩИТНЫХ СЛОЕВ НА ПОВЕРХНОСТИ РТУТИ.....	41
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	43
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	45

Учебное издание

Омарова Каинжамал Искаковна

**ДЕМОНСТРАЦИОННЫЕ ОПЫТЫ
ПО КОЛЛОИДНОЙ ХИМИИ**

Методические указания

Редактор *З.Т. Рахимбаева*
Компьютерная верстка
и дизайн обложки *Н.М. Базарбаевой*

ИБ №10483

Подписано в печать 23.02.17. Формат 60х84 1/16. Бумага офсетная.

Печать цифровая. Объем 3,0 п.л. Тираж 100 экз. Заказ №494.

Издательский дом «Қазақ университеті»

Казахского национального университета им. аль-Фараби.

050040, г. Алматы, пр. аль-Фараби, 71. КазНУ.

Отпечатано в типографии издательского дома «Қазақ университеті».