

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна  
Должность: проректор по учебной работе  
Дата подписания: 22.12.2021 20:47:20  
Уникальный программный ключ:  
0b817ca911e6668abb13a5d426c551b01a11577e84745648f01d1564089

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

Федеральное государственное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Юго-Западный государственный университет»

Кафедра фундаментальной химии и химической технологии



**Методические указания  
к самостоятельной работе**  
по дисциплине «Коллоидная химия»  
для студентов направлений подготовки  
18.03.01 - Химическая технология  
04.03.01 - Химия

Курск 2017

УДК 541.18 (076.5)

Составитель: Г.В.Бурых

Рецензент

Кандидат химических наук, доцент С.Д.Пожидаева

Методические указания к самостоятельной работе по дисциплине «Коллоидная химия» /Юго-зап.гос.ун-т; сост.: Г.В.Бурых. Курск, 2017. 19 с. Библиогр.: с.19

Приведены краткие теоретические сведения, а также контрольные вопросы и тестовые задания по некоторым разделам дисциплины «Коллоидная химия» для самостоятельной работы и проверки знаний.

Методические указания предназначены для использования в текущем контроле для студентов направления 18.03.01;04.03.01

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать . Формат 60x84 1/16.

Усл.печ.л. 1,1 . Уч.-изд.л. 1,0 . Тираж 30 экз. Заказ . Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет

305040 Курск, ул.50 лет Октября, 94.

## Коллоидно-дисперсные системы

Коллоидная химия рассматривает дисперсные системы и поверхностные явления, возникающие на границе раздела фаз. Коллоидная химия – это физикохимия гетерогенных систем, содержащих чаще всего две фазы. Одна фаза представляет собой высокодисперсные, мельчайшие частицы вещества или макромолекулы ВМС, и она называется дисперсной фазой. Другая фаза, в которой распределены агрегаты дисперсных частиц или макромолекул, называется дисперсионной средой. Условием образования таких дисперсных систем (коллоидного состояния вещества) является нерастворимость одной фазы в другой.

Дисперсная фаза, состоящая из множества мельчайших частиц, имеет очень большую удельную поверхность раздела с дисперсионной средой. Особые свойства поверхности раздела обуславливают специфические особенности дисперсных систем, что и является причиной выделения данной области знания в отдельную науку – коллоидную химию.

Основными отличительными особенностями дисперсных систем от истинных растворов являются:

- а) способность к рассеиванию света;
- б) медленная диффузия частиц дисперсной фазы в дисперсионной среде;
- в) способность к диализу;
- г) агрегативная неустойчивость дисперсной фазы, проявляемая в виде выделения частиц из дисперсионной среды при добавлении к системе электролитов или под влиянием других внешних воздействий.

Гетерогенные высокодисперсные системы характеризуются размерами частиц дисперсной фазы в интервале  $10^{-5} - 10^{-7}$  см.

Ниже этого интервала происходит переход от агрегатов к отдельным молекулам, т.е. к истинным растворам. При диаметре частиц более  $10^{-5}$  см грубодисперсные системы называются микрогетерогенными. Это порошки, суспензии, эмульсии, пены и др. Микрогетерогенные системы, в соответствии с проявляемыми ими свойствами, также относятся к дисперсным, хотя подвижность таких крупных частиц в дисперсионной среде резко снижена.

Если в жидкости распределена твердая фаза, то система (Т/Ж) называется суспензией. Если фаза и среда – жидкости, то система (Ж/Ж) называется эмульсией, в случае же газообразной дисперсионной среды система (Ж/Г, Т/Г) носит название аэрозоль.

Системы, в которых энергетическое взаимодействие между дисперсной фазой и дисперсионной средой проявляется слабо (например, частицы металлов или галогенидов серебра в воде), называются лиофобными (или в водной среде – гидрофобными, т.е. нелюбящими воду). Если же в дисперсной системе интенсивность молекулярных взаимодействий на границе раздела фаз является сильно выраженной (например, в растворах ВМС, белков), то такие системы называются лиофильными (или в водной дисперсионной среде – гидрофильными, т.е. любящими воду).

### **Контрольные вопросы**

1. Понятия о дисперсной системе, дисперсной фазе, дисперсионной среде. Причины особых свойств коллоидных систем. Примеры дисперсных систем среди продуктов питания (с пояснениями).

2. Отличительные признаки дисперсных систем от истинных растворов. Механизм проявления каждого отличительного признака.

3. Классификации дисперсных систем по размерам дисперсных частиц, агрегатным состояниям дисперсной фазы и дисперсионной среды.

4. Методы получения дисперсных систем, их классификация и краткая характеристика. Какой метод получения дисперсных систем с термодинамической точки зрения наиболее выгоден?

5. Понятие о дисперсной системе, дисперсной фазе и дисперсионной среде. Особенности коллоидно-дисперсного состояния.

6. Степень дисперсности дисперсной фазы. Понятие об удельной поверхности. Как связана площадь поверхности дисперсной фазы с размерами и геометрической формой дисперсных частиц?

7. Процессы самопроизвольного диспергирования и пептизации. Приведите конкретные примеры этих явлений для продуктов питания и дайте им обоснование.

8. Методы получения дисперсных систем и их очистка.

9. Методы очистки дисперсных систем от низкомолекулярных веществ – диализ, электродиализ, ультрафильтрация. Сущность и механизм каждого метода.

10. Особенности коллоидно-дисперсных систем

### **Тестовые задания**

1. Удельная поверхность дисперсной системы - это отношение площади поверхности между фазами

- к температуре
- к давлению
- к объему дисперсной фазы
- к концентрации дисперсной фазы
- к массе дисперсной фазы
- к концентрации дисперсионной среды

2. Дисперсная фаза состоит из сферических частиц радиусом ( $r$ ).

Дисперсность  $D =$

- $1/r$
- $2/r$
- $1/(2r)$
- $4/r$

3. Вид зависимости удельной поверхности ( $S_{уд}$ ) от дисперсности ( $D$ )

- прямая, выходящая из начала координат
- убывающая прямая зависимость
- возрастающая часть гиперболы
- убывающая часть гиперболы

4. Вид зависимости удельной поверхности ( $S_{уд}$ ) от размера частиц ( $a$ )

- прямая, выходящая из начала координат
- убывающая прямая зависимость
- возрастающая часть гиперболы
- убывающая часть гиперболы

### **Разновидности коллоидных систем**

Коллоидными свойствами могут обладать системы как с неорганическими, так и с органическими фазовыми компонентами. К дисперсным системам относятся как разнообразные природные объекты, так и многочисленные продукты питания, причем дисперсная фаза в них, как правило, полидисперсная, т.е. размеры частиц лежат в значительном интервале.

Эмульсии – это тонкодисперсные системы (типа Ж/Ж), в которых в жидкости диспергированы одна или несколько жидких фаз.

Все фазы в эмульсиях являются подвижными. Дисперсионная среда (чаще всего – вода) и дисперсная фаза должны сильно отличаться по полярности и, следовательно, не смешиваться. В эмульсиях

размеры частиц (капелек) дисперсионной среды меняются в широких пределах. В общем случае в эмульсионных системах неполярную или малополярную жидкую фазу называют маслом, а водой – более полярную фазу (независимо от их природы). Тогда эмульсии классифицируют на два типа: масло в воде и вода в масле. Дисперсной фазой здесь называют компонент, содержащийся в эмульсии в меньшем количестве. Примерами эмульсий могут служить молоко, сливочное масло, сливки, сметана и др.

Эмульсии получают преимущественно путем механического диспергирования при сильном перемешивании, встряхивании, а также методом выдавливания дисперсной фазы в дисперсионную среду под давлением через тонкие отверстия и др. Существенным свойством эмульсий, как и других микрогетерогенных систем, является их относительная неустойчивость и легкость слияния капелек дисперсной фазы при их столкновениях. Это является следствием избытка свободной энергии на межфазной поверхности. В пределе процесс слияния может привести к расслоению эмульсии на две самостоятельные фазы. Разрушение эмульсий происходит также под воздействием добавляемых к коллоидной системе растворов электролитов. Процесс при этом подчиняется правилу Шульце - Гарди.

Для повышения устойчивости эмульсий активно используются стабилизаторы, которые называют эмульгаторами (часто это поверхностно-активные вещества или тонкоизмельченные порошки). Эмульгаторы адсорбируются на границе раздела капли и дисперсионной среды и определяют не только устойчивость, но и тип эмульсии.

Пены – это лиофобные дисперсные системы (типа Г/Ж), в которых объем дисперсной газовой фазы (чаще всего это воздух) намного превышает объем дисперсионной среды. Между пузырьками газа располагается тонкая пленка жидкости. Отношение объема пены к объему исходного раствора пенообразователя называется кратностью пены (может достигать 1000). За меру устойчивости пен обычно принимают время, в течение которого пена существует. Пены получают методами диспергирования или конденсации. Они образуются только в растворах, чистые жидкости практически не образуют пену. Для стабилизации пен используют высокомолекулярные соединения, на

пример белковые вещества, спирты, жирные кислоты, белки, сапонин (глюкозид) и др. Белки и сапонин дают жесткие и прочные пены. Желатин наиболее устойчивую пену образует в своей изоэлектрической точке, при которой он имеет самую низкую растворимость.

Особое место среди стабилизаторов пенообразования занимают мыла, образующие пены исключительной устойчивости. Использование для стабилизации полимеризующихся материалов приводит к получению таких материалов, как пенопласт, пенобетон, пенорезина и др. Процесс пенообразования часто применяется для удаления из раствора нежелательных примесей, при этом сам пенообразователь удаляется из раствора вместе с пеной и примесями

Аэрозоли – это дисперсные системы типа Т/Г и Ж/Г, в которых дисперсионной средой служит воздух или другой газ. Аэрозоли содержат частицы размерами от  $10^{-7}$  до  $10^{-1}$  см и являются весьма полидисперсными системами. Частицы в них находятся в броуновском движении, проявляют поверхностную адсорбцию и рассеивают свет. На поверхности частиц аэрозолей чаще всего отсутствуют двойные электрические слои, но если на них происходит адсорбция соответствующих веществ, то частицы могут нести поверхностный заряд. Свойства этих систем меньше всего зависят от вида газовой фазы.

Аэрозоли подразделяются на туманы, пыли и дымы. Если диспергированное вещество находится в газе в твердом виде, то такую пылеобразную систему относят к пыли или дыму (Т/Г). Если диспергированное вещество жидкое – это туман (Ж/Г). Туманы (конденсационные аэрозоли, размеры частиц  $10^{-3}$ - $10^5$  см) образуются при конденсации из пересыщенных паров или в результате газовых реакций. Пыли и дымы (диспергационные и конденсационные аэрозоли) образуются при горении или раздроблении твердых веществ, или при распылении порошков. Размеры их частиц составляют, соответственно, более  $10^{-3}$  см и  $10^{-5}$  -  $10^{-7}$  см. Все эти системы агрегативно неустойчивы и могут давать опасные взрывчатые смеси с воздухом.

Порошки – это аэрозоли (тип Т/Г), скоагулировавшие и образовавшие осадок, а также грубодисперсные системы, которые вследствие значительного размера своих частиц лишены кинетической устойчивости. При осторожном высушивании суспензии получается порошок. Большую роль для практического использования порошков играет величина их удельной поверхности (размер частиц).

Прилипаемость частиц к различным поверхностям сильно зависит от их природы, влажности, формы и усиливается с уменьшением размера частиц.

Суспензии – это взвеси порошков в жидкости (тип Т/Ж). Дисперсная фаза в суспензиях содержит частицы сравнительно больших

размеров ( $>10^{-4}$  см), поэтому суспензии седиментационно (т.е. по способности к оседанию) неустойчивы. Они практически не обнаруживают осмотического давления, броуновского движения и диффузии. Частицы могут нести на своей поверхности двойной электрический слой, что способствует их стабилизации, но под влиянием электролитов суспензии коагулируют или образуют агрегаты, причем коагулированная суспензия обычно легко пептизируется. Суспензии гидрофильных частиц стойки в воде, но нестойки в углеводородах. Их стойкость повышается в присутствии поверхностно-активных веществ. Повышению стабильности суспензий способствует также образование заряда на поверхности частиц.

Пасты – это высококонцентрированные стабилизированные суспензии (типа Т/Ж), в которых частицы дисперсной фазы связаны за счет молекулярных сил и по этой причине не способны к взаимному перемещению. В таких высоковязких (пластично-вязких) системах почти вся дисперсионная среда сольватно связана с дисперсной фазой. Таким образом, пасты занимают промежуточное положение между порошками и суспензиями. В них могут протекать процессы, характерные для коллоидных систем с внутренней структурой (синерезис и др.) Большое практическое значение таких концентрированных систем обусловлено их пластичностью.

### **Контрольные вопросы**

1.Эмульсии: классификация, условия их образования и свойства. Примеры эмульсий среди продуктов питания.

2.Суспензии: способы их образования, устойчивость и свойства. Примеры суспензий из продуктов питания.

3.Микрогетерогенные системы: получение, стабилизация и примеры этих систем среди продуктов питания. Аэрозоли.

4.Пены: условия их образования и свойства. Роль пенообразования в технологии приготовления кондитерских изделий и примеры использования пен.

5.Аэрозоли: классификация, методы образования, свойства и применение в пищевой промышленности.

6.Пасты: образование, свойства и практическое применение.

7.Порошки: общая характеристика, классификация и применение в пищевой промышленности.



8. Студни, как эластичные гели. Механизм их образования и факторы, определяющие скорость студнеобразования. Процессы студнеобразования в пищевой технологии.

### Тестовые задания

1. Размер частиц золей (ультрамикрогетерогенных систем) лежит в пределах
  - от  $10^{-11}$  до  $10^{-12}$  м
  - от  $10^{-8}$  до  $10^{-10}$  м
  - от  $10^{-5}$  до  $10^{-7}$  м
  - от  $10^{-7}$  до  $10^{-9}$  м
  - от  $10^{-3}$  до  $10^{-5}$  м
  - от  $10^{-1}$  до  $10^{-2}$  м
2. Лиозоли, согласно классификации дисперсных систем по размерам частиц дисперсной фазы, относят к
  - микрогетерогенным системам
  - ультрамикрогетерогенным системам
  - грубодисперсным системам
3. Суспензии, согласно классификации дисперсных систем по размерам частиц дисперсной фазы, относят к
  - грубодисперсным системам
  - микрогетерогенным системам
  - ультрамикрогетерогенным системам
4. Характерными особенностями лиозолой являются
  - низкое поверхностное натяжение
  - отсутствие седиментации
  - наличие структуры
  - участие частиц в броуновском движении
  - высокая вязкость

### Поверхностные явления в дисперсных системах

На границе раздела фаз, например жидкости и воздуха, молекулы вещества в глубине одной из фаз и на ее поверхности энергетически не равноценны. На молекулу внутри фазы со всех сторон действуют межмолекулярные силы, уравновешивающие друг друга. А на

поверхностную молекулу со стороны дисперсной фазы, с одной стороны, и дисперсионной среды с другой, действуют силы, разные по величине. Таким образом, на поверхности дисперсных частиц появляется избыточная энергия. Такая картина характерна для любых поверхностей раздела фаз. Чем больше поверхность раздела, тем больше накопленная поверхностная энергия в межфазном поверхностном слое. Это является причиной неустойчивости системы, поскольку в ней самопроизвольно могут протекать процессы, направленные на снижение поверхностной энергии путем уменьшения величины удельной поверхности (например, капля жидкости всегда стремится принять форму шара, поскольку при данном объеме форма шара обладает минимальной поверхностью).

Самопроизвольные процессы, идущие с уменьшением площади поверхности  $S$ , называются коагуляцией, а процессы, идущие с уменьшением  $S$  в частности при увеличении концентрации вещества в поверхностном слое по сравнению с концентрацией его в объеме фазы, называются адсорбцией.

Адсорбция – процесс самопроизвольного поглощения вещества (адсорбтива) поверхностью адсорбента. Уравнение Гиббса устанавливает взаимосвязь величины адсорбции ( $\Gamma$ , кмоль/кг или кмоль/м<sup>2</sup>) с изменением поверхностного натяжения Дж/м<sup>2</sup> от концентрации раствора ( $C$ , кмоль/м<sup>3</sup>).

Физические процессы молекулярной адсорбции на твердой поверхности описываются уравнениями Ленгмюра и Фрейндлиха.

Адсорбция на жидкой поверхности может приводить как к уменьшению поверхностного натяжения (например, при адсорбции малорастворимых, дифильных поверхностно-активных веществ), так и к его увеличению (в частности, при адсорбции поверхностно-инактивных веществ, т.е. хорошо растворимых в воде неорганических электролитов), или не изменять его (растворы сахаров в воде). В последнем случае вещество распределяется равномерно между поверхностным слоем и объемом раствора.

Адсорбция кислорода на поверхности мелких порошков и аэрозолей в ряде случаев может приводить к резкому ускорению процесса окисления дисперсной фазы, что может стать причиной самовозгорания и даже взрыва, например, мелкодисперсной муки, мучной, сахарной пыли и т. п. Ионная адсорбция может быть обратимой или необратимой. Обратимая адсорбция является основой ионообменной хроматографии.

## Контрольные вопросы

1. Адсорбционные явления в коллоидных системах. Физическая и химическая адсорбции. Типы связей между адсорбентом и адсорбтивом и причины их обуславливающие.

2. Молекулярная адсорбция на твердой поверхности. Уравнения изотермы Ленгмюра и Фрейндлиха. Их анализ и сфера применимости.

3. Понятие свободной поверхностной энергии. Какие процессы могут протекать самопроизвольно на поверхности вещества?

4. Поверхностно-активные вещества. Описать причины и механизм проявления их поверхностной активности.

5. Адсорбция на поверхности раздела Ж / Г. Адсорбционное уравнение Гиббса, его анализ и область использования.

6. Классификация ПАВ по их химическому строению и по механизму действия. Особенности их адсорбции на поверхности жидкости.

7. Адсорбция ионов на твердой поверхности. Понятие об ионитах. Обратимая ионообменная адсорбция – основа ионообменной хроматографии.

## Тестовые задания

1. В соответствии с законом Генри начальный участок изотермы адсорбции (при малых концентрациях или давлениях) должен быть
  - выпуклым по отношению к оси абсцисс
  - вогнутым по отношению к оси абсцисс
  - линейным
2. Закон Генри соблюдается
  - при высокой концентрации (давлении паров) адсорбата
  - при низкой концентрации (давлении паров) адсорбата
  - в средней части изотермы адсорбции
3. Уравнение Ленгмюра используется в случае
  - нелокализованной адсорбции на энергетически однородной поверхности
  - локализованной адсорбции на энергетически неоднородной по-

верхности

локализованной адсорбции на энергетически однородной поверхности

капиллярной конденсации

4. Уравнение Ленгмюра может быть использовано при адсорбции на

микропористых адсорбентах

адсорбентах с переходными порами в области высоких давлений паров

макропористых адсорбентах

5. Константа  $K$ , входящая в уравнение Ленгмюра  $A = A_{\infty} \frac{Kp}{1 + Kp}$ , представляет собой константу

скорости адсорбции

адсорбционного равновесия

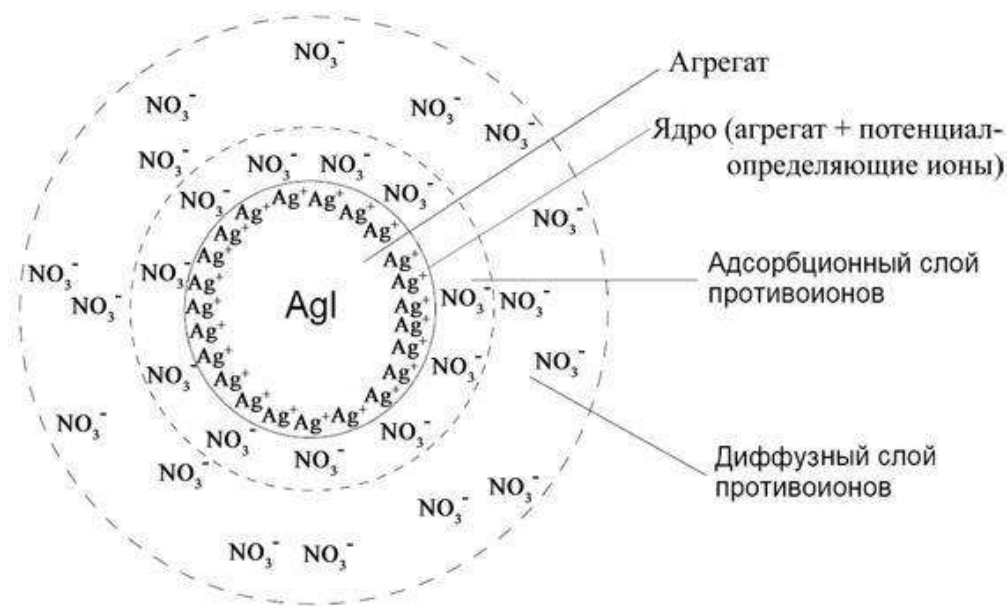
конденсации

### Электрокинетические свойства дисперсных систем

В дисперсной системе за счет избирательной адсорбции твердыми частичками одного из ионов электролита на поверхности раздела фаз может возникать двойной электрический слой (ДЭС) определенного строения. Так, при получении мелкодисперсного осадка иодида серебра из хорошо растворимых исходных компонентов для стабилизации, повышения устойчивости образующегося золя  $AgI$  всегда берется небольшой избыток одного из электролитов. Тогда избыточные над стехиометрией реакции одноименные осадку ионы  $Ag^+$  (в случае избытка в растворе  $AgNO_3$ ) или  $I^-$  (при избытке  $KI$ )

будут адсорбироваться на поверхности осадка  $AgI$ , встраиваясь в его кристаллическую решетку. Избыточно адсорбированные ионы носят название потенциалопределяющих ионов. Они образуют внутреннюю часть ДЭС. К ним притягиваются электростатическими силами ионы противоположного знака заряда (противоионы)  $NO_3^-$  (в первом случае) или  $K^+$  (во втором), образуя внешнюю обкладку ДЭС. При этом часть противоионов будет находиться в растворе у самой поверхности дисперсной фазы (плотный слой), а часть сохраняет способность к подвижному распределению в растворе вблизи поверхно-

сти гранулы, образуя «облако» из диффузных противоионов (диффузный слой). Такая коллоидная частица вместе с противоионами называется мицеллой и в целом является электронейтральной. Однако сама твердая фаза в первом случае адсорбции будет заряжена положительно, а во втором случае – отрицательно. Отметим также, что для образования на поверхности дисперсной фазы ДЭС достаточно даже ничтожно малого количества электролита.



$[\text{AgI}]_m$  – агрегат

$[\text{AgI}]_m n \text{Ag}^+$  – ядро

$\{[\text{AgI}]_m n \text{Ag}^+ (n-x) \text{NO}_3^-\}^{x+}$  – коллоидная частица

$\{[\text{AgI}]_m n \text{Ag}^+ (n-x) \text{NO}_3^-\}^{x+} x \text{NO}_3^-$  – мицелла.

В этих формулах частички AgI являются зародышем (или агрегатом) мицеллы; зародыш вместе с потенциалопределяющими ионами дают ядро мицеллы; ядро с плотной частью противоионов составляют заряженную гранулу (или частицу), а гранула совместно с диффузными противоионами образуют мицеллу.

Наличие ДЭС обуславливает электрокинетические явления в дисперсных системах, т.е. передвижение твердой или жидкой дисперсной фазы под воздействием приложенной к системе разности потенциалов. С другой стороны, в случае принудительного передвижения частиц или жидкости в дисперсной системе появляется электри-

ческое поле. Так, если пропускать постоянный ток через мицеллярный раствор, то наблюдается направленное движение коллоидных частиц относительно жидкой дисперсионной среды к катоду в первом из рассмотренных выше случаев, или к аноду – во втором. Это явление получило название электрофореза. Наблюдение за электрофорезом позволяет по направлению движения дисперсной фазы определять знак заряда коллоидных частиц. Если же дисперсной фазе придать неподвижность относительно движущейся жидкости и к такой системе приложить разность потенциалов, то в электрическом поле за счет движения ионов диффузной части ДЭС происходит направленное передвижение жидкости к соответствующему полюсу. Такая реализация процесса носит название электроосмоса. Причина электрофореза и электроосмоса, как и других электрокинетических явлений, заключается в разноименности зарядов твердой и жидкой фазы, а их движение вызывается приложенной извне разностью потенциалов. Отметим при этом, что при движении, например, отрицательно заряженной гранулы к аноду диффузные противоions лишь частично двигаются к катоду, тогда как оставшаяся часть диффузного слоя вследствие значительных электрических и адсорбционных сил в мицелле вместе с мицеллой движется к полюсу своего знака заряда. Причем электрофорез, например, следует рассматривать не как простое движение ионов, а как перенос зарядов, сопровождающийся направленным взаимным обменом противоionsами между соседними мицеллами. Описанный трансляционный механизм электрокинетических явлений подтвержден тем фактом, что электроосмос наблюдается только в сильноразбавленных растворах электролитов, поскольку в растворах с высокой концентрацией диффузная часть ДЭС предельно сжата и практически все противоions располагаются в плотном слое.

Явления электрофореза и электроосмоса широко применяются в исследовательской и прикладной практике. Электрофорез используется, например, для их разделения и анализа, а электроосмос применяется для удаления влаги из пористых систем.

При движении одной фазы относительно другой в коллоидной системе проявляется скачок потенциала между жидкостью, непосредственно связанной с поверхностью гранулы, и всей остальной жидкостью. Этот потенциал получил название электрокинетического (или дзета-)потенциала. Чем больше слой противоions ДЭС (или чем больше ионов находится в диффузной части), тем больше значение

потенциала. Состояние дисперсной системы, при котором потенциал равен нулю, называется изоэлектрическим состоянием.

### Контрольные вопросы

1. Золь  $\text{BaSO}_4$  получен смешением некоторых объемов  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$  и  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Напишите формулу мицеллы, если в электрическом поле гранула перемещается к аноду. Какой электролит взят в избытке?

2. В каком объемном соотношении следует смешать 0,029 %-ный раствор  $\text{NaCl}$  и 0,001 н раствор  $\text{AgNO}_3$ , чтобы получить незаряженные частицы золя  $\text{AgCl}$ ? Плотность раствора  $\text{NaCl}$  равна 1 г/мл.

3. Напишите формулы зольей:  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , стабилизированного  $\text{AlCl}_3$  и  $\text{SiO}_2$ , стабилизированного  $\text{H}_2\text{SiO}_3$ . Для какого из указанных зольей лучшим коагулятором является  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ?

4. Напишите формулу золя золота  $\text{Au}$ , стабилизированного  $\text{KAuO}_2$ . У какого из электролитов –  $\text{NaCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{BaCl}_2$  или  $\text{FeCl}_3$  – порог коагуляции будет иметь меньшую величину?

5. Напишите формулы мицеллы  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , стабилизированной  $\text{AlCl}_3$ . Какой из электролитов –  $\text{NaCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  или  $\text{FeCl}_3$  – являются лучшим коагулятором для указанных зольей?

6. Золь  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  получен гидролизом  $\text{FeCl}_3$ . Напишите формулу мицеллы, если в растворе при образовании частицы  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  присутствуют ионы  $\text{Fe}^{3+}$  и  $\text{Cl}^-$ . Укажите знак заряда гранулы.

7. Вычислите скорость электрофореза дисперсных частиц, если электрокинетический потенциал составляет 0,058 В, градиент напряженности внешнего поля равен  $5 \cdot 10^{-2}$  В/м, вязкость среды –  $10^{-3}$  Па·с, диэлектрическая проницаемость  $\epsilon = 81$  и электрическая константа –  $8,85 \cdot 10^{12}$  Ф/м.

8. Определите величину электрокинетического потенциала частицы, если при электрофорезе за 180 с смещение границы составило  $5 \cdot 10^{-7}$  м, градиент напряженности внешнего поля –  $1 \cdot 10^1$  В/м, диэлектрическая проницаемость среды – 81, электрическая константа –  $8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м, вязкость среды –  $1 \cdot 10^3$  Па·с.

9. Напишите строение мицеллы золя, образованного в результате взаимодействия указанных веществ (избытка одного, затем другого вещества): 1)  $\text{CdCl}_2 + \text{Na}_2\text{S}$ ; 2)  $\text{FeCl}_3 + \text{NaOH}$ . Назовите составляющие компоненты мицеллы.

10. Золь  $\text{AgI}$  получен смешением 8 мл раствора  $\text{KI}$  с молярной концентрацией 0,05 моль/л и 10 мл раствора  $\text{AgNO}_3$  с молярной кон-

центрацией 0,02 моль/л. Напишите формулу образовавшейся мицеллы. К какому электроду будет двигаться гранула в электрическом поле?

### Тестовые задания

- При смешивании растворов хлорида бария и сульфата натрия (избыток) образуются мицеллы следующего строения

  - $[\text{BaSO}_4]_m n \text{SO}_4^{2-} | (2n-2x) \text{Na}^+ | 2x \text{Na}^+$
  - $[\text{BaCl}_2]_m n \text{SO}_4^{2-} | (2n-2x) \text{Na}^+ | 2x \text{Na}^+$
  - $[\text{BaSO}_4]_m n \text{Ba}^{2+} | (2n-2x) \text{Cl}^- | 2x \text{Cl}^-$
  - $[\text{BaCl}_2]_m n \text{Ba}^{2+} | (n-x) \text{SO}_4^{2-} | x \text{SO}_4^{2-}$
- При смешивании растворов хлорида бария (избыток) и сульфата натрия образуются мицеллы следующего строения

  - $[\text{BaSO}_4]_m n \text{SO}_4^{2-} | (2n-2x) \text{Na}^+ | 2x \text{Na}^+$
  - $[\text{BaCl}_2]_m n \text{SO}_4^{2-} | (2n-2x) \text{Na}^+ | 2x \text{Na}^+$
  - $[\text{BaSO}_4]_m n \text{Ba}^{2+} | (2n-2x) \text{Cl}^- | 2x \text{Cl}^-$
  - $[\text{BaCl}_2]_m n \text{Ba}^{2+} | (n-x) \text{SO}_4^{2-} | x \text{SO}_4^{2-}$
- При смешивании растворов фосфата натрия (избыток) и сульфата алюминия образуются мицеллы следующего строения

  - $[\text{AlPO}_4]_m n \text{SO}_4^{2-} | (2n-2x) \text{Na}^+ | 2x \text{Na}^+$
  - $[\text{AlPO}_4]_m n \text{PO}_4^{3-} | (3n-3x) \text{Na}^+ | 3x \text{Na}^+$
  - $[\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3]_m n \text{PO}_4^{3-} | (3n-3x) \text{Na}^+ | 3x \text{Na}^+$
  - $[\text{AlPO}_4]_m 3n \text{Na}^+ | (n-x) \text{PO}_4^{3-} | x \text{PO}_4^{3-}$
- При смешивании растворов фосфата натрия и сульфата алюминия (избыток) образуются мицеллы следующего строения

  - $[\text{AlPO}_4]_m n \text{SO}_4^{2-} | (2n-2x) \text{Na}^+ | 2x \text{Na}^+$
  - $[\text{AlPO}_4]_m n \text{PO}_4^{3-} | (3n-3x) \text{Na}^+ | 3x \text{Na}^+$
  - $[\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3]_m n \text{PO}_4^{3-} | (3n-3x) \text{Na}^+ | 3x \text{Na}^+$
  - $[\text{AlPO}_4]_m n \text{Al}^{3+} | 1,5(n-x) \text{SO}_4^{2-} | 1,5x \text{SO}_4^{2-}$
- При смешивании растворов сульфида калия и нитрата серебра (избыток) образуются мицеллы следующего строения

  - $[\text{AgNO}_3]_m n \text{S}^{2-} | (2n-2x) \text{K}^+ | 2x \text{K}^+$
  - $[\text{Ag}_2\text{S}]_m n \text{S}^{2-} | (2n-2x) \text{K}^+ | 2x \text{K}^+$
  - $[\text{Ag}_2\text{S}]_m n \text{Ag}^+ | (n-x) \text{NO}_3^- | x \text{NO}_3^-$
  - $[\text{AgNO}_3]_m n \text{Ag}^+ | 0,5(n-x) \text{S}^{2-} | 0,5x \text{S}^{2-}$



## Устойчивость дисперсных систем

Некоторые дисперсные системы могут существовать неограниченно долго, однако большинство из них являются неустойчивыми и постепенно разрушаются. Мицеллы самопроизвольно или под влиянием каких-либо внешних воздействий могут слипаться, всплывать или оседать, разрушаться и т.д. Устойчивость дисперсной системы характеризуется способностью дисперсной фазы сохранять во времени как исходные размеры частиц, так и равномерность распределения их в объеме дисперсионной среды. Наличие электрического заряда на поверхности частиц является важным условием сохранения устойчивости дисперсных систем.

Агрегативная неустойчивость дисперсных систем обусловлена избытком свободной поверхностной энергии на межфазной границе, что приводит к самопроизвольному образованию агрегатов и последующему их слипанию. В итоге система разделяется на два слоя – жидкость (дисперсионная среда) и плотный осадок (дисперсная фаза).

Кинетическая (седиментационная) неустойчивость проявляется в оседании частичек дисперсной фазы под влиянием силы тяжести.

Коагуляция – процесс самопроизвольного укрупнения (слипания) дисперсных частиц, который может происходить при действии на дисперсную систему различных факторов: интенсивного перемешивания, нагревания или охлаждения, облучения светом или пропускания электрического тока, добавления к системе электролитов и др.

Во всех случаях воздействия на систему происходит уменьшение энергии связи диспергированных частиц с окружающей их дисперсионной средой. Так, добавление электролита вызывает сжатие диффузного слоя в коллоидной частице и, следовательно, понижение величины электрокинетического потенциала. Это приводит к уменьшению электростатического отталкивания коллоидных частиц и, как следствие, к большей вероятности их слипания. Минимальная концентрация электролита, добавляемого к дисперсной системе, при которой наступает явная коагуляция, носит название порога коагуляции. Порог коагуляции определяется температурой,

природой добавленного электролита, знаком заряда добавляемого иона (действует прежде всего ион, заряженный противоположно коллоидным частицам), и величиной заряда этого иона. Так, для трех-, двух- и однозарядных ионов явная коагуляция наступает при концентрации электролитов, относящихся между собой как 1 : 10-50 : 500-1000 (приближенное правило Шульце-Гарди).

### Контрольные вопросы

1 Быстрая и медленная коагуляции. Теория быстрой коагуляции Смолуховского. Константа коагуляции и время половинной коагуляции.

2 Порог коагуляции. Правило Шульце - Гарди.

3 Вычислите объем раствора сульфата алюминия концентрацией  $0,01 \text{ кмоль/м}^3$  для коагуляции  $0,001 \text{ м}^3$  золя сульфида мышьяка, если его порог коагуляции равен  $9,6 \cdot 10^{-7} \text{ кмоль/м}^3$ .

4 Рассчитайте порог коагуляции раствора сульфата натрия, если добавление его  $0,1 \text{ н}$  раствора объемом  $0,005 \text{ л}$  вызывает коагуляцию золя объемом  $0,015 \text{ л}$ .

5 Понятие агрегативной и кинетической неустойчивости дисперсной системы. Причины их вызывающие. Скрытая и явная коагуляции.

6 Коагуляция дисперсной системы. Скорость коагуляции. Причины, вызывающие процесс самопроизвольной коагуляции.

7 Влияние электролитов на процесс коагуляции дисперсных систем. Объяснить понятие о пороге коагуляции. Правило Шульце - Гарди.

8 Пороги коагуляции золя при действии на него электролитами оказались равными (ммоль/л):  $\text{NaNO}_3 = 250,0$ ;  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 = 20,0$ ;  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 = 0,5$ . Определите, какие ионы электролитов являются коагулирующими и как заряжены частицы золя.

4. Определите, как расположатся пороги коагуляции в ряду  $\text{CrCl}_3$ ,  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$  для золя кремниевой кислоты, частицы которой заряжены отрицательно. Вычислите объём раствора  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  с концентрации  $0,01 \text{ кмоль/м}^3$ , необходимый для коагуляции  $10^3 \text{ м}^3$  золя  $\text{As}_2\text{S}_3$ ? Порог коагуляции равен  $96 \cdot 10^6 \text{ кмоль/м}^3$ .

5. Для коагуляции  $10 \cdot 10^6 \text{ м}^3$  золя AgJ необходимо  $0,45 \cdot 10^6 \text{ м}^3$  раствора  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ , концентрация которого  $0,01 \text{ кмоль/м}^3$ . Определите порог коагуляции золя.
6. Вычислите объем раствора  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  необходимый для коагуляции  $1 \cdot 10^3 \text{ м}^3$  золя  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ? Концентрация раствора электролита  $0,01 \text{ кмоль/м}^3$ , порог коагуляции  $\gamma = 0,63 \cdot 10^3 \text{ кмоль/м}^3$ .

### Библиографический список

1. Щукин Е. Д. Коллоидная химия: учебник / Е. Д. Щукин, А. В. Перцов, Е. А. Амелина. - 4-е изд., испр. - М. : Высшая школа, 2006. - 444 с.
2. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии (поверхностные явления и дисперсные системы). -М.: Химия, 1989.- 487 с.
3. Лабораторные работы и задачи по коллоидной химии/ Под ред. Ю.Г.Фролова. -М.: МХТИ им. Д.И.Менделеева, 1986. -310 с.
4. Баранова В.И., Бибик Е.Е., Кожевникова Н.М. Практикум по коллоидной химии. -М.: Высшая школа, 1983. -215 с.
5. Меерсон С.И., Хавкина Б.Л. Коллоидная химия. -М.: Изд-во Моск. текстильной академии, 1981.- 112с.