

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«Брестский государственный технический университет»

Кафедра инженерной экологии и химии

Методические указания

к лабораторным и практическим работам по курсам «Химия»,
«Общая, неорганическая и физическая химия» по теме:

«Химия поверхностных явлений и дисперсных систем»

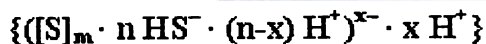
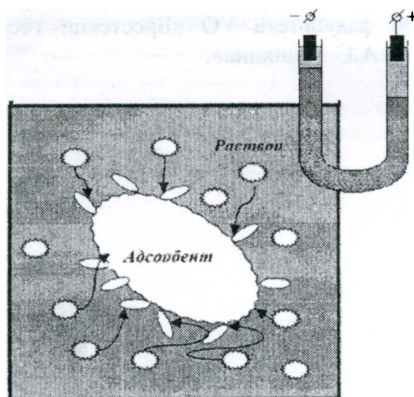
для студентов специальностей:

1-53 01 01 Автоматизация технологических процессов и производств

1-70 04 03 Водоотведение, водоснабжение, очистка природных и сточных вод

1-74 05 01 Мелиорация и водное хозяйство

1-70 04 02 Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна



УДК 541.1+541.18

Методические указания содержат краткие теоретические сведения соответствующих разделов курсов «Химия» и «Общая, неорганическая и физическая химия» по теме «Химия поверхностных явлений и дисперсных систем» для студентов специальностей: 1-53 01 01 Автоматизация технологических процессов и производств, 1-70 04 03 Водоотведение, водоснабжение, очистка природных и сточных вод, 1-74 05 01 Мелиорация и водное хозяйство, 1-70 04 02 Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна. В практической части приведены описания лабораторных опытов, правила техники безопасности, примеры решения типовых задач, контрольные задания, список используемой литературы. Рекомендуется для самостоятельной подготовки к лабораторным, практическим занятиям и экзаменам.

Составители: Левчук Н.В. доцент, к.т.н.
Кобринец Л.А., ассистент

Рецензент: Голуб Н.М., кандидат химических наук, доцент, декан биологического факультета УО «Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина».

СОДЕРЖАНИЕ

Основные термины и определения	4
1. Поверхностные явления	4
1.1. Поверхности раздела и закономерности протекания адсорбционных процессов	4
1.2. Адсорбция твердыми телами.....	5
1.3. Адсорбция растворенного вещества из раствора на границе твердое тело-жидкость	5
1.4. Адсорбция на границе раздела жидкость газ (ж-г)	5
1.5. Молекулярная адсорбция.....	6
1.6. Ионная адсорбция	6
2. Физико-химия дисперсных систем	7
2.1. Классификация дисперсных систем	7
2.1.1. Классификация дисперсных систем по степени дисперсности д.ф.	7
2.1.2. Классификация по агрегатному состоянию	8
2.1.3. Классификация по межфазовому взаимодействию.....	8
2.2. Методы получения коллоидно-дисперсных растворов	8
2.3. Строение коллоидных частиц.....	9
2.4. Двойной электрический слой и электрокинетические явления.....	11
2.5. Влияние различных факторов на электротермодинамический и электрокинетический потенциалы.....	12
2.6. Электрокинетические явления	12
2.7. Оптические свойства дисперсных систем.....	13
2.8. Устойчивость и факторы устойчивости дисперсных систем.....	14
2.9. Коагуляция	14
2.10. Взаимная коагуляция зольей	16
2.11. Старение зольей и пептизация	17
2.12. Установление знака заряда зольей методом капиллярного анализа.....	17
3. Техника лабораторных работ	18
3.1. Техника безопасности	18
3.2. Лабораторная работа	20
Тема 1: Поверхностные явления и грубодисперсные системы.....	20
Тема 2: Избирательность адсорбции. Влияние растворителя на адсорбцию	21
Тема 3: Получение и свойства эмульсий.....	23
Тема 4: Получение зольей при химических реакциях и изучение их свойств.....	24
Тема 5: Влияние концентраций реагирующих веществ на процесс образования коллоидных растворов	27
Тема 6: Коагуляция. Установление порога коагуляции	28
4. Задания для самостоятельной работы	29
4.1. Контрольные вопросы	29
4.2. Примеры решения типовых задач к теме «Строение коллоидных частиц»	30
4.3. Контрольные задания к теме «Строение коллоидных частиц»	30
4.4. Примеры решения типовых задач к теме «Коагуляция зольей. Порог коагуляции электролитов».....	32
4.5. Контрольные задания к теме «Коагуляция зольей. Порог коагуляции электролитов»	33
5. Литература	35

ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Поверхностные явления – это физико-химические явления, которые протекают на поверхности раздела фаз и обусловлены особыми, (по сравнению с объемными) свойствами поверхностных слоев жидкостей и твердых тел.

Сорбция – это процесс самопроизвольного поглощения веществом других веществ. Сорбция бывает: *физическая* – обусловлена физическими силами межмолекулярного взаимодействия, *химическая или хемосорбция* – поглощаемое вещество и поглотитель вступают в химическую реакцию.

Абсорбция – вещество поглощается всем объемом поглотителя.

Адсорбция – накопление вещества на поверхности поглотителя.

Десорбция – процесс, обратный сорбции.

Адсорбент – вещество, на поверхности которого идет адсорбция.

Адсорбтив – вещество, которое адсорбируется.

ПАВ – поверхностно-активные вещества.

ПИВ – поверхностно-инактивные вещества

ПНВ – поверхностно-неактивные вещества.

Дисперсные системы – это системы, состоящие из частиц одного или нескольких веществ, находящихся в однородной среде другого вещества. (Дисперсный-рассеянный, рассыпанный – лат.)

Диспергирование – процесс дробления одного вещества в другом.

Дисперсная фаза – раздробленное вещество (д.ф.)

Дисперсионная среда – среда, в которой находится дисперсная фаза (д.с.).

Коллоидные системы – это частный случай дисперсных систем с размерами частиц дисперсной фазы от 10^{-5} - 10^{-7} см.

Коллоидные растворы – это коллоидно-дисперсные системы с жидкой дисперсионной средой, в которых отсутствуют связи между частицами дисперсной фазы.

Мицелла – структурная единица дисперсной фазы коллоидного раствора.

Седиментация – осаждение коллоидных частиц на дно под действием силы тяжести.

Коагуляция – это процесс укрупнения, агрегации первичных частичек дисперсной фазы в более крупные агрегаты и, в конечном счете, выпадение дисперсной фазы в осадок.

1. ПОВЕРХНОСТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

1.1. Поверхности раздела и закономерности протекания адсорбционных процессов

Все поверхности раздела в зависимости от агрегатного состояния граничных фаз делят на два класса:

- 1) подвижные поверхности раздела между жидкостью и газом (ж-г) и двумя несмешивающимися жидкостями (ж-ж);
- 2) неподвижные поверхности раздела между твердым телом и газом (т-г), твердым телом и жидкостью (т-ж), твердым телом и твердым телом (т-т).

Адсорбцию обозначают буквой «Г». Количественно ее выражают формулой:

$$\Gamma = X/S \text{ или } \Gamma = X/m$$

где X – число молей адсорбтива, S – площадь поверхности адсорбента, m – масса адсорбента.

1.2. Адсорбция твердыми телами

Твердая поверхность при рассмотрении в электронный микроскоп шероховата, имеет неровности, выступы. На них возникают не полностью скомпенсированные поля притяжения, обусловленные межмолекулярными силами. Эти неровности, выступы называются активными центрами. На них и происходит в первую очередь адсорбция.

Адсорбцию на твердых адсорбентах нельзя описать уравнением Гиббса, т.к. для твердых веществ нельзя непосредственно измерить величину σ . В этом случае адсорбцию Γ выражают числом молей адсорбтива, приходящегося на единицу массы адсорбента.

$$\Gamma = X/m$$

Хорошими адсорбентами являются активированный уголь, силикагель, алюмогель. Чтобы улучшить адсорбционную способность, им придают пористость. При этом увеличивается удельная поверхность. Для угля это достигается путем термической обработки. Так получают активированный уголь.

1.3. Адсорбция растворенного вещества из раствора на границе твердое тело-жидкость

Качественная характеристика процесса адсорбции из раствора на твердом адсорбенте достаточно сложна по трем основным причинам:

- 1) присутствует третий компонент – растворитель, молекулы которого могут также адсорбироваться;
- 2) растворенное вещество взаимодействует с растворителем;
- 3) если растворенное вещество – электролит, то в полярном растворителе оно диссоциирует на ионы, а ионы электростатически взаимодействуют с адсорбентом, поверхность которого заряжается.

Адсорбция растворенного вещества из раствора на твердом адсорбенте количественно описывается уравнениями Лэнгмюра и Фрэйндлиха.

$$\Gamma = X/m = K C^{1/n},$$

где K и n – эмпирические константы.

Качественная характеристика процесса адсорбции из раствора на твердом адсорбенте достаточно сложна, т.к.:

- присутствует третий компонент – растворитель, молекулы которого могут также адсорбироваться;
- растворенное вещество взаимодействует с растворителем;
- если растворенное вещество электролит, то в полярном растворе оно диссоциирует на ионы, а ионы электролитически взаимодействуют с адсорбентом, поверхность которого заряжается.

1.4. Адсорбция на границе раздела жидкость-газ (ж-г)

На поверхности жидкости может адсорбироваться растворенное вещество. Адсорбцию вычисляют с помощью уравнения Гиббса:

$$\Gamma = -\frac{C}{R \cdot T} \cdot \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{C_2 - C_1} = -\frac{C}{R \cdot T} \cdot \frac{\Delta\sigma}{\Delta C},$$

где Γ – адсорбция, в данном случае – это изменение концентрации на поверхности раздела по сравнению с концентрацией в объеме фазы; $\Delta\sigma$ – изменение по-

верхности натяжения, соответствующее изменению молярной концентрации вещества ΔC ; R – универсальная газовая постоянная; T – абсолютная температура; $\Delta\sigma/\Delta C$ – поверхностная активность.

1.5. Молекулярная адсорбция

На адсорбенте адсорбируются молекулы. Молекулярная адсорбция характерна для неэлектролитов и зависит от природы растворителя и адсорбента. Подчиняется правилу полярностей Ребиндера: растворенное вещество тем лучше адсорбируется, чем больше разность полярностей между ним и растворителем.

На поверхности раздела молекулы ПАВ ориентируются полярной частью к полярной фазе, неполярной – к неполярной фазе. Поэтому ПАВ из водных растворов хорошо адсорбируются на гидрофобных поверхностях, не смачивающихся водой (уголь, тальк), а из неполярных растворителей (бензол) – на гидрофильных поверхностях (глина, силикагель).

Если для водного раствора применять гидрофильный адсорбент, то будет адсорбироваться вода, а не растворенное вещество. Из раствора в неполярном растворителе на гидрофобном адсорбенте будет адсорбироваться сам растворитель, а не ПАВ.

1.6. Ионная адсорбция

Такой вид адсорбции характерен для растворов сильных электролитов. Различают: эквивалентную; избирательную; обменную адсорбцию.

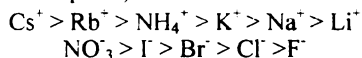
Эквивалентная адсорбция характерна тем, что катионы и анионы адсорбируются в эквивалентных количествах.

Избирательная адсорбция характерна тем, что в зависимости от свойств адсорбента на нем накапливаются или катионы, или анионы, по правилу Пескова-Фаянса. В соответствии с правилом Пескова-Фаянса:

- на поверхности твердого адсорбента преимущественно адсорбируются те ионы, которые могут достраивать кристаллическую решетку данного адсорбента;
- адсорбируются ионы, заряд которых противоположен заряду поверхности.

Адсорбционная способность ионов тем больше, чем больше заряд иона и их радиус в сольватном состоянии при одинаковых зарядах.

По адсорбционной способности ионы располагаются в определенной последовательности (лиотропные ряды):



В лиотропных рядах уменьшается радиус иона, а также уменьшается адсорбция.

Обменная адсорбция – это явление замены на адсорбенте одного вещества другим из внешней среды.

Наиболее широко распространена ионообменная адсорбция – процесс, при котором адсорбент и раствор обмениваются между собой в эквивалентных количествах одноименно заряженными ионами. Такие адсорбенты называют ионитами. Различают катиониты, которые обмениваются с раствором катионом, и аниониты, которые обмениваются анионом.

Иониты могут подвергаться регенерации, поэтому их использование экономически обосновано. Иониты применяют в медицине и фармацевтике, для

удаления и обезвреживания радиоактивных изотопов в различных отраслях промышленности, для очистки технических и сточных вод, обессоливания и получения качественной питьевой воды. Методы ионного обмена внедряются в самые различные области химических технологий и позволяют осуществлять переход к безотходным, экологически чистым методам производства.

2. ФИЗИКО-ХИМИЯ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ

2.1. Классификация дисперсных систем

Дисперсионные системы классифицируют по трем признакам:

- по степени дисперсности, т.е. по размерам частиц дисперсной фазы;
- по агрегатному состоянию дисперсной фазы и дисперсионной среды;
- по межфазовому взаимодействию.

2.1.1. Классификация дисперсных систем по степени дисперсности д.ф.

Таблица 1 – Классификация дисперсных систем по степени дисперсности д.ф.

Дисперсные системы	Размеры частиц д.ф. (см.)	Свойства дисперсных систем
1	2	3
Грубодисперсные	$10^{-2} - 10^{-4}$	Мутные, не проходят через бумажный фильтр, оседают при отстаивании, отражают свет.
Коллоидно-дисперсные (микрорегетерогенные)*	$10^{-7} - 10^{-5}$	Прозрачные, опалесцируют при боковом освещении, проходят через бумажный фильтр, не проходят через животные и растительные мембраны.
Молекулярно- и ионно-дисперсные** (ультрамикрорегетерогенные)	$10^{-9} - 10^{-7}$	Прозрачные, проходят через бумажный фильтр

* Микрорегетерогенные системы классифицируют по следующим признакам:

1) По агрегатному состоянию фаз – если д.с. – газ, то коллоидные системы называются аэрозоли; если д.с. – жидкость, то лиозоли; если д.с. – твердое вещество солидозоли.

2) По природе д.с. Гидрозоли – д.с. – вода, бензоли – д.с. – бензол, алкозоли – д.с. – спирт и т.д.

3) По интенсивности молекулярного взаимодействия фаз различают лиофильные (в частности гидрофильные) и лиофобные коллоидные системы. Примеры лиофильных коллоидных систем – коллоидные растворы ПАВ.

4) В зависимости от наличия или отсутствия связей между частицами д.ф.:

а) если связи устойчивые – то это связано дисперсная система. В них д.ф. практически неподвижна и образует сплошную сетку или каркас, внутри которой заключена д.с. (это гели или студни);

б) если связи между частицами д.ф. отсутствуют, то это свободно-дисперсионные системы или коллоидные растворы. В них д.ф. подвижна и равномерно распределена в объеме д.с.

** Это истинные растворы, в которых размеры частиц дисперсной фазы близки к размерам отдельных молекул или ионов, многие ученые не относят их к дисперсным системам.

2.1.2. Классификация по агрегатному состоянию

Таблица 2 – Классификация по агрегатному состоянию д.ф. и д.с.

№ п/п	Агрегатное состояние		Вид дисперсной системы	Примеры
	д.ф.	д.с.		
1	2	3	4	5
1.	газ.	газ.	Не относится к дисперсным системам, т.к. является гомогенной смесью	атмосфера Земли
2.	ж.	газ.	аэрозоли	туман
3.	тв.	газ.	аэрозоли	пыль, дым
4.	газ.	ж.	пены	мыльная пена
5.	ж.	ж.	эмульсии	молоко, кровь
6.	тв.	ж.	золи, суспензии	взвеси в воде
7.	газ.	тв.	твердые пены	активированный уголь, пемза
8.	ж.	тв.	пористые тела	адсорбенты, почвы
9.	тв.	тв.	твердые коллоидные растворы	сплавы, минералы

2.1.3. Классификация по межфазовому взаимодействию

В зависимости от степени межфазного взаимодействия различают:

- 1) лиофильные системы, в которых взаимодействие д.ф. со средой сильное и частицы хорошо сольватированы;
- 2) лиофобные системы – в них взаимодействие д.ф. со средой слабое.

2.2. Методы получения коллоидно-дисперсных растворов

Для этого необходимо:

- 1) достичь коллоидной дисперсности,
- 2) подобрать д.с., в которой нерастворимо вещество д.ф.,
- 3) подобрать третий компонент – стабилизатор коллоидной системы. Стабилизатор адсорбируется на поверхности раздела фаз и образует защитные слои, препятствующие сближению д.ф.

Так как по размерам частиц д.ф. коллоидные системы занимают промежуточное положение между грубодисперсными системами и истинными растворами низкомолекулярных соединений (НМС), то различают две группы методов:

1. Диспергационные – в них частицы получают путем дробления более крупных частиц:

- Механическое дробление. Его проводят с помощью специальных шаровых мельниц и коллоидных мельниц, в которых вещество измельчают между быстро вращающимся ротором и неподвижным статором.

- Ультразвуковые методы. Вещество измельчают ультразвуком.

- Электрический метод является одновременно и диспергационным, и конденсационным. Вначале получают пары металла в электрической дуге, а затем их конденсируют в охлажденном растворителе.

- Пептизация. Получение коллоидного раствора путем растворения свежобразованного осадка с помощью специального вещества-пептизатора.

2. Конденсационные – частицы д.ф. получают путем объединения более мелких – атомов, молекул, ионов.

- Физическая конденсация основана на физических методах воздействия (метод замены растворителя, электрический метод, см. выше).

- Химическая конденсация сводится к реакциям, в результате которых получают труднорастворимые соединения (реакции гидролиза, ионного обмена, ОВР, нейтрализации).

2.3. Строение коллоидных частиц

Дисперсные системы широко распространены в природе. Почва, глина, воздух, природные воды, дым, пыль, многие минералы (в том числе и драгоценные камни) – все это дисперсные системы.

Коллоидные растворы (золи) состоят из мицелл и интермицеллярной жидкости. Мицеллы представляют собой дисперсную фазу золя, а интермицеллярная жидкость – дисперсионную среду, в состав которой входит растворитель и растворенные в нем электролиты и неэлектролиты.

Коллоидные системы обязательно требуют присутствия специального стабилизатора – электролита. Ионы стабилизатора адсорбируются на поверхности частиц дисперсной фазы, образуя двойной электрический слой (ДЭС) и обеспечивают устойчивость системы. Образовавшиеся при этом микро-структуры и представляют собой мицеллы коллоидных растворов.

Мицеллой лиофобной системы называется гетерогенная микросистема, которая состоит из микрокристаллика дисперсной фазы, окруженной сольватными ионами стабилизатора.

Мицелла – это коллоидная частичка, имеющая более сложное строение, чем обычная молекула.

Строение мицеллы рассмотрено на рис. 1.

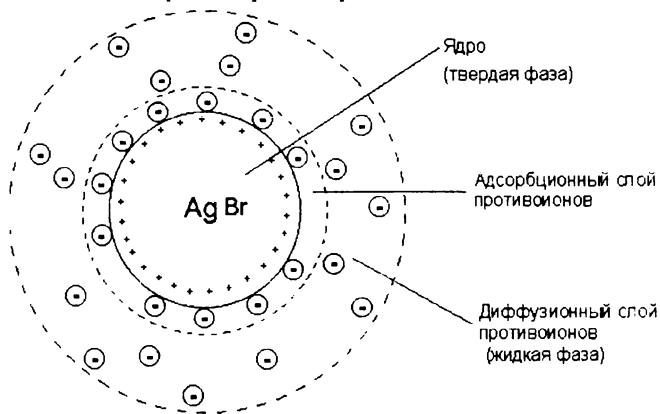


Рисунок 1 – Строение мицеллы бромида серебра

Мицелла состоит из электронейтрального агрегата и ионогенной части. Масса коллоидной частицы сосредоточена главным образом в агрегате, который состоит из сотен атомов и молекул. Ионогенная часть мицеллы делится на адсорбционный и диффузный слой. Агрегат в результате избирательной адсорбции ионов, согласно правилу Панета-Фаянса или ионизации поверхностных молекул, приобретает заряд. Ионы, определяющие заряд агрегата, называются потенциалопределяющими. Агрегат и потенциалопределяющие ионы образуют ядро. С заряженной поверхностью ядра устойчиво связано некоторое чис-

ло ионов противоположного знака – противоионов. Это связанные или «неподвижные» противоионы. Потенциалоопределяющие и противоионы образуют адсорбционный слой. Агрегат вместе с адсорбционным слоем называют гранулой. Заряд гранулы равен сумме прочно связанных противоионов и потенциалопределяющих ионов.

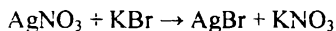
Остальные противоионы испытывают электростатическое притяжение со стороны гранулы и благодаря силам диффузии располагаются вокруг гранулы более рыхло, диффузно. Эти противоионы вместе со своими гидратными оболочками образуют диффузный слой и называются «подвижными» или «свободными» противоионами. Гранула вместе с окружающим ее диффузным слоем сольватируемых противоионов составляют мицеллу. В отличие от гранулы, мицелла имеет заряд, равный нулю, и не имеет строго определенных размеров.

В мицелле с ионным стабилизатором, как во всякой гетерогенной системе, в которой на границе раздела фаз имеется двойной электрический слой (ДЭС), различают два потенциала – межфазный (электротермодинамический, E) и электрокинетический (дзета-потенциал, ξ). Согласно современным представлениям, ДЭС состоит из прочно связанных с поверхностью дисперсной фазы потенциалопределяющих ионов и эквивалентного количества противоположно заряженных ионов – противоионов, находящихся в дисперсионной среде.

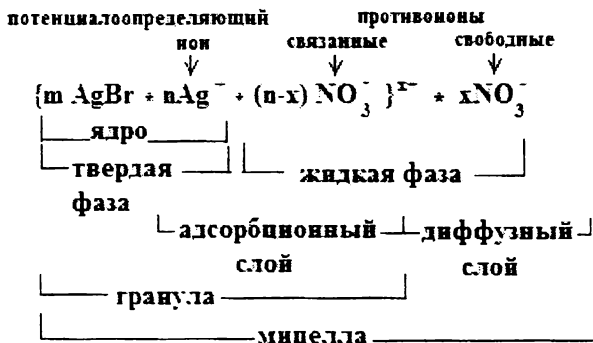
Разность потенциалов между твердой и жидкой фазами в ДЭС называется межфазным или электротермодинамическим потенциалом.

Разность потенциалов между адсорбционной и диффузной частями ДЭС называется электрокинетическим потенциалом или дзета-потенциалом (ξ).

Рассмотрим строение мицеллы золя $AgBr$. Его можно получить взаимодействием разбавленных растворов $AgNO_3$ и KBr при избытке одного из реагентов. Бромид серебра образуется по реакции обмена:

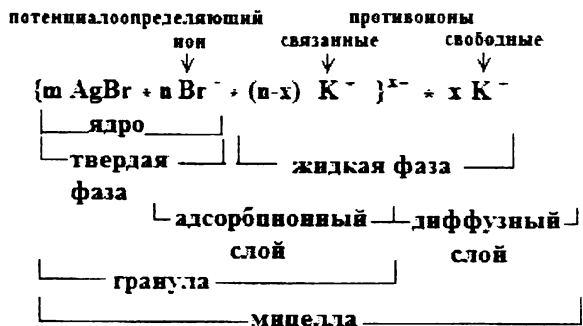


В зависимости от того, какое из веществ взято в избытке, заряд частиц золя будет разный. При избытке $AgNO_3$ схему построения мицеллы можно записать следующим образом:

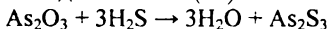


В электрическом поле по условной межфазной границе и границе скольжения (гранула/диффузный слой) происходит взаимное перемещение дисперсной фазы и дисперсионной среды к противоположно заряженным частицам.

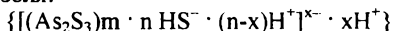
При избытке КВг схема строения мицеллы AgVг приведена ниже:



Золь сульфида мышьяка получают пропусканием сероводорода через разбавленный водный раствор оксида мышьяка (III):



Строение мицеллы золя:



2.4. Двойной электрический слой и электрокинетические явления

Возникновение электротермодинамического и электрокинетического потенциалов можно схематически изобразить так: а) – по Гельмгольцу и Перрену, б) – по Гуи и Чепмену, в) – по Штерну. Вверху – схема расположения противоионов, внизу – зависимость потенциала от расстояния.

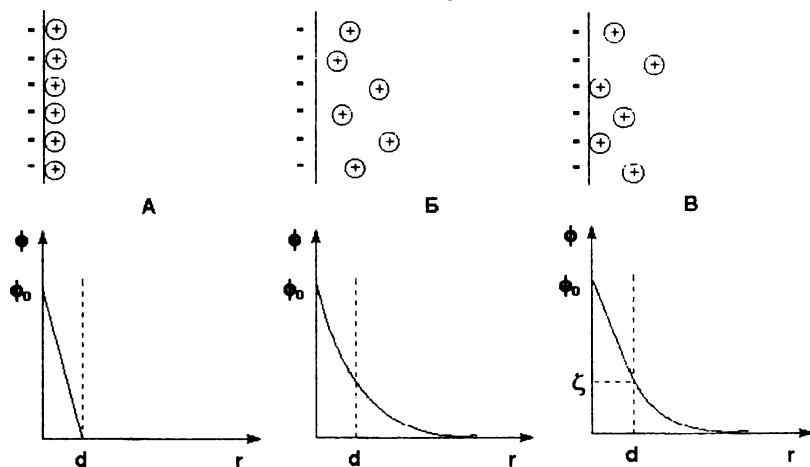


Рисунок 2 – Строение двойного электрического слоя

При рассмотрении строения мицеллы было показано, что на поверхности гидрофобных коллоидов образуется двойной электрический слой. Потенциал электрического поля внутри ДЭС ϕ по теории Гельмгольца и Перрена линейно уменьшается с увеличением расстояния от поверхности r (рис. 2а).

Противоионы, благодаря тепловому движению, образуют вблизи твердой поверхности ядра диффузную *ионную атмосферу*. Уменьшение электрического потенциала ДЭС ϕ с увеличением расстояния r в этом случае происходит нелинейно (рис. 2б).

Согласно модели Штерна часть противоионов находится на расстояниях порядка диаметра иона от поверхности ядра, образуя т.н. адсорбционный слой противоионов, а другая часть образует диффузный слой. Потенциал диффузной части двойного электрического слоя и есть дзета-потенциал ζ (дзета) (см. рис.2в). Поскольку ζ -потенциал пропорционален заряду коллоидной частицы, агрегативная устойчивость золя пропорциональна его величине.

2.5. Влияние различных факторов на электротермодинамический и электрокинетический потенциалы

Величина электротермодинамического потенциала зависит от природы вещества, входящего в состав ядра, а также от заряда и концентрации потенциалопределяющих ионов, адсорбированных на ядре мицеллы.

Величина электрокинетического потенциала зависит от толщины диффузного слоя: чем она меньше, тем меньше дзета-потенциал. Толщина диффузного слоя в свою очередь зависит от концентрации противоионов и их заряда. Чем выше заряд противоиона и чем больше их концентрация, тем больше они адсорбируются, внедряясь в адсорбционный слой, тем меньше противоионов остается в диффузном слое. Это приводит к уменьшению величины дзета-потенциала.

Электрокинетический потенциал зависит от температуры. С одной стороны, при повышении температуры толщина диффузного слоя возрастает, и это должно привести к увеличению дзета-потенциала. С другой стороны, с ростом температуры адсорбция уменьшается вследствие десорбции потенциалопределяющих ионов. Этот процесс приводит к уменьшению электротермодинамического потенциала и, следовательно, его составляющей части – дзета-потенциала.

2.6. Электрокинетические явления: электрофорез, электроосмос, потенциал течения, потенциал оседания

Под действием электрического поля в коллоидных растворах наблюдается два явления:

1. Перемещение твердой фазы относительно жидкой среды, которое было названо электрофорезом;
2. Перемещение жидкой среды относительно твердой фазы, которое было названо электроосмосом.

Явление электрофореза можно наблюдать, поместив в U-образную трубку какой-либо окрашенный золь, поверх которого налит не смешивающийся с золем бесцветный электролит. Если опустить в электролит электроды и наложить разность потенциалов, то граница окрашенного золя в одном из колен трубки будет подниматься, в другом – опускаться (рис. 3). Если поместить в U-образную трубку пористую перегородку (например, мелкий кварцевый песок) и заполнить её водой, то при наложении разности потенциалов в одном колене будет наблюдаться подъем уровня жидкости, в другом – его опускание (рис. 4). При этом происходит такое явление, как электроосмос. Явления электрофореза и электроосмоса получили общее название *электрокинетических явлений*.

Если не прилагать к двойному электрическому полю разницы потенциалов, а смешать одну фазу относительно другой, то будет наблюдаться перенос электрических зарядов, что вызывает появление соответствующей разности потенциалов. В случае передвижения жидкостью возникает потенциал течения (*эффект Дорна*), а в случае перемещения твердой фазы – оседания (*эффект Квинке*).

Электрокинетический потенциал нельзя измерить, его рассчитывают, определяя скорость движения дисперсной фазы при электрофорезе или дисперсионной среды при электроосмосе.

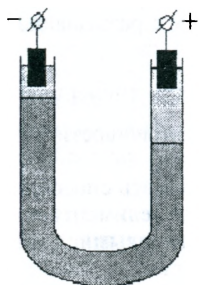


Рисунок 3 – Схема опыта по электрофорезу

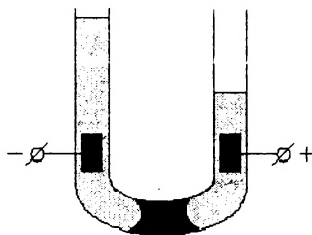


Рисунок 4. – Схема опыта по электроосмосу

Электрофоретические методы широко используются в медико-биологических исследованиях, электрофорез используют в клинических исследованиях для диагностики многих заболеваний, в процессах водоподготовки и обезвреживания промышленных стоков.

2.7. Оптические свойства дисперсных систем

Особые оптические свойства коллоидных растворов обусловлены их главными особенностями: *дисперсностью и гетерогенностью*. На оптические свойства дисперсных систем в значительной степени влияют размер и форма частиц. Прохождение света через коллоидный раствор сопровождается такими явлениями, как поглощение, отражение, преломление и рассеяние света. Преобладание какого-либо из этих явлений определяется соотношением между размером частиц дисперсной фазы и длиной волны падающего света. В грубодисперсных системах в основном наблюдается отражение света от поверхности частиц. В коллоидных растворах размеры частиц сравнимы с длиной волны видимого света, что предопределяет рассеяние света за счёт дифракции световых волн.

Светорассеяние в коллоидных растворах проявляется в виде опалесценции – матового свечения (обычно голубоватых оттенков), которое хорошо заметно на тёмном фоне при боковом освещении золя. Причиной опалесценции является рассеяние света на коллоидных частицах за счёт дифракции. С опалесценцией связано характерное для коллоидных систем явление – эффект Тиндаля: при пропускании пучка света через коллоидный раствор с направлений, перпендикулярных лучу, наблюдается образование в растворе светящегося конуса.

Чем меньше длина волны падающего излучения, тем больше будет рассеяние. Следовательно, если на частицу падает белый свет, наибольшее рассеяние

будут испытывать синие и фиолетовые компоненты. Поэтому в проходящем свете коллоидный раствор будет окрашен в красноватый цвет, а в боковом, отраженном – в голубой.

На сравнении интенсивности светорассеяния золей, один из которых имеет известную концентрацию (степень дисперсности), основан метод определения концентрации либо степени дисперсности золя, называемый нефелометрией. На использовании эффекта Тиндаля основывается ультрамикроскоп – прибор, позволяющий наблюдать коллоидные частицы размером более 3 нанометров в рассеянном свете (в обычном микроскопе можно наблюдать частицы с радиусом не менее 200 нм из-за ограничений, связанных с разрешающей способностью оптики).

2.8. Устойчивость и факторы устойчивости дисперсных систем

Для дисперсных систем различают два вида устойчивости – кинетическую (седиментационную) и агрегативную.

Под кинетической устойчивостью следует понимать способность дисперсной фазы находиться во взвешенном состоянии и не седиментироваться. Высокодисперсные системы являются кинетически устойчивыми, грубодисперсные системы – неустойчивы.

Частицы дисперсной фазы одновременно испытывают действие силы земного притяжения и архимедовой силы; в зависимости от соотношения плотностей дисперсионной среды и дисперсной фазы равнодействующая этих сил будет вынуждать частицы к оседанию либо всплытию. Процесс оседания либо всплытия коллоидных частиц в золе называется *седиментацией*. Однако седиментации всегда противодействует другой процесс, стремящийся к равномерному распределению коллоидных частиц по всему объему раствора – *диффузия*, осуществляемая под действием *броуновского движения частиц*. Соотношение между этими двумя процессами определяет *кинетическую устойчивость золей*.

Агрегативная устойчивость – это способность системы сохранять определенную степень дисперсности, не объединяясь в более крупные агрегаты. Нарушение агрегативной устойчивости, которое происходит вследствие слипания первичных частичек в более крупные агрегаты, называется коагуляцией.

Дисперсные системы в большинстве случаев неустойчивы.

К факторам устойчивости дисперсных систем относятся следующие:

- наличие электрического заряда у частичек;
- способность к сольватации противоионов диффузного слоя;
- адсорбционные свойства дисперсных систем.

Нарушение устойчивости дисперсных систем приводит к возникновению коагуляции и в конечном счете выпадению дисперсной фазы в осадок.

2.9. Коагуляция

Коагуляция – это процесс укрупнения, агрегации первичных частичек дисперсной фазы в более крупные агрегаты и в конечном счете выпадение дисперсной фазы в осадок. Коагуляцию могут вызвать различные внешние воздействия – повышение или понижение температуры, встряхивание, перемешивание, облучение, добавка химических веществ и т.д.

При определенных условиях коагуляция золей приводит к образованию студенистой массы, называемой *гелем*. В этом случае вся масса коллоидных

частиц, связывая растворитель, переходит в своеобразное полужидкое-полутвердое состояние. От гелей следует отличать *студни* – *растворы высокомолекулярных веществ в низкомолекулярных жидкостях (системы гомогенные)*. Их можно получить при набухании твердых полимеров в определенных жидкостях. Наиболее изученным процессом является коагуляция электролитами. Существуют следующие правила коагуляции электролитами:

1. Коагулирующим действием обладают ионы, имеющие заряд, противоположный заряду гранулы, или одинаковый по знаку с противоионами. Коагуляцию положительно заряженных золь вызывают анионы, отрицательно заряженных – катионы.

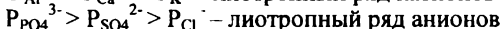
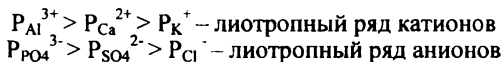
2. Каждый электролит характеризуется пороговой концентрацией, т.е. наименьшей концентрацией, которую необходимо добавить к литру коллоидного раствора, чтобы вызвать его коагуляцию. Порог коагуляции или пороговая концентрация обозначаются C_k .

Величина, обратная порогу коагуляции, называется коагулирующей способностью:

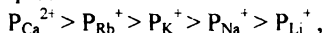
$$P = 1 / C_k$$

Начало коагуляции может быть определено по изменению окраски золя, появлению мути, началу выделения дисперсионной фазы в осадок и т.д.

3. Коагулирующая способность ионов зависит от величины их заряда. Чем выше заряд иона, тем выше его коагулирующая способность (правило Шульца-Гарди)



4. Для ионов одного заряда коагулирующая способность зависит от радиуса сольватированного иона: чем больше радиус, тем меньше его коагулирующая способность. Например, для катионов щелочных металлов можно записать следующий лиотропный ряд:



Для анионов, соответственно:



5. Дзетта-потенциал, при котором начинается явная коагуляция, называется критическим. Его величина составляет +30 мВ.

В агрегативно устойчивом состоянии коллоидного раствора значения дзетта-потенциала колеблется в пределах 50-70 мВ. При уменьшении дзетта-потенциала под действием электролита до 25-30 мВ в системе не наблюдается никаких внешних изменений (помутнения или изменения окраски), вследствие чего этот период коагуляции называется «скрытой» коагуляцией. Дальнейшее добавление электролита, вызывающего еще большее сжатие диффузного слоя и уменьшение дзета-потенциала до 0, сопровождается помутнением раствора и называется «явной» коагуляцией.

Процесс коагуляции золя характеризуется определенной величиной *скорости коагуляции*, которую можно определить как изменение числа коллоидных частиц в единице объема за единицу времени. Скорость коагуляции золя электролитами зависит как от концентрации самого золя, так и от концентрации электролитов. Типичный вид коагуляционной кривой (зависимости отношения концентрации коллоидных частиц n к их начальной концентрации n_0 от времени t) и кривой зависимости скорости коагуляции V от концентрации электроли-

та С показан на рисунках 5 и 6. На кривой ОАБВ (рис. 6) отрезок ОА отвечает периоду *скрытой коагуляции*, при которой золь сохраняет свою устойчивость. В точке А при концентрации электролита C_1 начинается *явная коагуляция*; на участке АВ скорость коагуляции быстро возрастает с ростом концентрации электролита. На участке БВ скорость коагуляции остается постоянной; это связано с тем, что при концентрации электролита C_2 величина ζ -потенциала становится равной нулю; скорость коагуляции при этом достигает максимального значения.

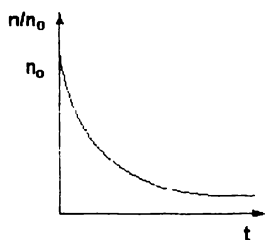


Рисунок 5 – Коагуляционная кривая

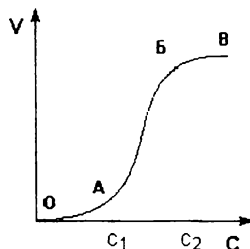
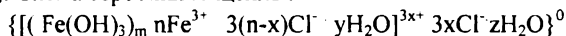


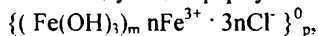
Рисунок 6 – Зависимость скорости коагуляции от концентрации

Рассмотрим нарушение устойчивости гидрозоля $\text{Fe}(\text{OH})_3$, стабилизированного FeCl_3 . Схема строения мицеллы:



При этом устанавливается равновесие дисперсная фаза \leftrightarrow дисперсионная среда.

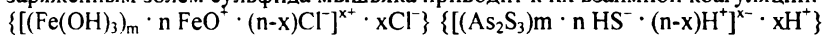
Если к данному гидрозолю $\text{Fe}(\text{OH})_3$ добавить раствор электролита, например Na_2SO_4 , то ионы электролита будут увеличивать заряд противоионов диффузного слоя $(3(n-x)\text{Cl}^-)$, снизится заряд коллоидной частицы, число молекул воды в грануле уменьшится и устойчивость коллоидной системы нарушится. В таком случае коллоидные частицы становятся незащищенными и при столкновении слипаются и укрупняются – образуется осадок. Осадок гидрозоля гидроксида железа (III) можно описать следующей формулой:



где p – число слипшихся частиц.

2.10. Взаимная коагуляция зелей

Коагуляция золя может быть вызвана его взаимодействием с другим золем, частицы которого имеют противоположный заряд. Так, смешение золя гидроксида железа, частицы которого имеют положительный заряд, с отрицательно заряженным золем сульфида мышьяка приводит к их взаимной коагуляции:



В данном случае коагуляция обусловлена тем, что коллоидные частицы одного вида являются как бы очень крупными многозарядными ионами – коагулянтами для частиц другого вида.

Взаимная коагуляция коллоидных систем может наблюдаться и тогда, когда частицы зелей имеют одноименный заряд; в этом случае причиной потери устойчивости одного из зелей является сильная специфическая адсорбция иона – стабилизатора данной системы поверхностью коллоидных частиц другой системы.

2.11. Старение золей и пептизация

Термодинамическая неустойчивость лиофобных коллоидных систем является причиной старения золей – самопроизвольной коагуляции (автокоагуляции) золей. Автокоагуляция золей происходит значительно медленнее, чем коагуляция электролитами; так, золи золота могут сохраняться без видимых изменений десятилетиями. Одной из основных причин старения золей является медленно совершающийся процесс перекристаллизации вещества ядра.

Пептизацией (деагрегацией) называется процесс расщепления коагулировавшего золя (коагулята) на первичные частицы – процесс, противоположный коагуляции. Пептизация возможна лишь тогда, когда структура частиц в коагуляте не изменена по сравнению с первоначальной (т.е. когда еще не произошло полного срачивания частиц, и они слабо связаны друг с другом). Различают непосредственную и опосредованную пептизацию.

Непосредственная пептизация происходит в результате добавления к коагуляту электролита, содержащего потенциалопределяющий ион; в результате его специфической адсорбции на поверхности частиц дисперсной фазы их заряд вновь увеличивается, толщина двойного электрического слоя возрастает. Это приводит к тому, что силы отталкивания между частицами начинают преобладать над силами притяжения; происходит деагрегация – распад образовавшегося ранее агрегата из слипшихся частиц.

Опосредованная пептизация вызывается добавлением в систему вещества, химическое взаимодействие которого с поверхностью коагулята приводит к высвобождению потенциалопределяющих ионов. Например, коагулировавший золь гидроксида железа (III) может быть пептизирован добавлением в систему либо какой-либо соли железа (непосредственная пептизация), либо соляной кислоты (опосредованная пептизация).

2.12. Установление знака заряда золя методом капиллярного анализа

Некоторые вещества при погружении в воду заряжаются отрицательно (целлюлоза, шелк, стекло, песок и др.). На этом явлении основан метод капиллярного анализа. Вода поднимается вверх по полоске фильтровальной бумаги, опущенной одним концом в воду. Это поднятие воды по капиллярам бумаги происходит вследствие сил поверхностного натяжения. При этом стенки капилляров фильтровальной бумаги заряжаются отрицательно, а прилегающая к ним вода – положительно. Если в воде находятся *отрицательно заряженные* коллоидные частицы, то они не притягиваются капиллярами поверхности бумаги (заряженными отрицательно), а будут двигаться вверх. Если частицы имеют *положительный заряд*, то они осядут на поверхности бумаги и не будут подниматься.

Таким образом, можно определить знак заряда частиц золя. Особенно удобен капиллярный метод для определения заряда частиц красителя в их золях. Кроме определения знака заряда частиц, капиллярный метод можно применять для анализа смесей различных окрашенных веществ и их разделения. Например, при погружении кончика полоски фильтровальной бумаги в раствор, содержащий смесь флуоресцеина и метиленового голубого, по этой полоске будет подниматься только желтый краситель – флуоресцеин.

Высота и скорость капиллярного подъема зависят от качества фильтровальной бумаги. Для работы рекомендуется брать толстую, рыхлую фильтро-

вальную бумагу, нарезая ее длинными полосками шириной 1,5-2 см. При определении знака заряда золя в стакан налить 5-10 мл раствора золь и опустить в него полоску фильтровальной бумаги. Верхний конец полоски закрепить за край стакана. Через 3-5 минут определить высоту поднятия золь и сделать вывод о значении заряда.

Значение золь исключительно велико, так как они более распространены, чем истинные растворы. Протоплазма живых клеток, кровь, соки растений – все это сложные золи. С зольями связано получение искусственных волокон, дубление кож, крашение, изготовление клеев, лаков, пленок, чернил. Много золь в почве, и они имеют первостепенное значение для ее плодородия.

3. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

3.1. Техника безопасности

При выполнении лабораторных работ студент должен уметь правильно обращаться с химической посудой, соблюдать особую осторожность при работе с токсичными и едкими веществами, знать приемы оказания первой медицинской помощи.

Работа со стеклянной посудой. Основным травмирующим фактором при работе со стеклянной химической посудой являются острые осколки стекла, способные вызвать порезы тела работающего. По этой причине следует соблюдать особую осторожность при использовании такой посуды. Если же во время работы стеклянная посуда всё-таки разбилась, то необходимо предпринять следующие меры.

Первая помощь. При порезах рук или других частей тела стеклом следует удалить из раны мелкие осколки, после чего промыть ее 2%-ным раствором перманганата калия или этиловым спиртом (или другим антисептиком), смазать края раны йодной настойкой и забинтовать. Ни в коем случае не промывать порез водой! При попадании осколков стекла в глаза и в случаях тяжёлых ранений (особенно при порезах артерий) после оказания первой помощи немедленно вызвать врача.

При уборке рабочего места осколки разбитой посуды во избежание порезов нельзя собирать голыми руками, нужно использовать щётку и совок.

Работа с газовыми горелками. Газ образует с воздухом взрывоопасные смеси. Поэтому при использовании природного газа необходимо соблюдать максимальную осторожность. Перед началом работы с газовыми горелками необходимо ознакомиться с инструкцией по их эксплуатации. Во избежание термического ожога нельзя касаться руками нагретых пробирок, верхней части газовой горелки.

Первая помощь. При ожогах легкой степени тяжести необходимо на пораженное место наложить повязку, смоченную 2% раствором перманганата калия. При ожогах средней степени тяжести на пораженное место накладывается стерильная повязка. Пострадавшего нужно срочно доставить в медицинское учреждение.

При отравлении газом пострадавшему нужно обеспечить приток свежего воздуха.

Работа с электронагревательными приборами. При использовании электронагревательных приборов необходимо соблюдать максимальную остo-

рожность. Перед началом работы с ними следует ознакомиться с инструкцией по их эксплуатации. При работе с водяной баней нужно следить, чтобы в ней постоянно была вода. Во избежание термического ожога нельзя касаться руками нагревательных элементов электрической плитки.

Первая помощь. При ожогах легкой степени тяжести необходимо на пораженное место наложить повязку, смоченную 2% раствором перманганата калия. При ожогах средней степени тяжести на пораженное место накладывается стерильная повязка. Пострадавшего нужно срочно доставить в медицинское учреждение.

Токсические свойства соединений, используемых в лабораторной работе и меры первой помощи при работе с ними.

Серная, соляная кислоты. Представляет опасность тем, что вызывает сильные химические ожоги и при внешнем воздействии, и при попадании вовнутрь.

Первая помощь. При попадании кислоты на кожу место поражения немедленно промыть большим количеством воды, продолжительность промывания 10-15 мин. Затем пораженное место обработать 2%-ным раствором пищевой соды. В случае поражения глаз – обильное промывание водой в течение 10-15 мин. При попадании кислоты вовнутрь – обильное питье, вызвать рвоту. Обратиться за помощью в медицинское учреждение.

Гидроксид натрия. При попадании на кожу, слизистые оболочки и, особенно, в глаза щелочи и ее растворов возникают сильные химические ожоги.

Первая помощь. При попадании на кожу растворов щелочи необходимо быстро промыть большим количеством воды в течение 10-15 мин. Затем на обожженное место положить примочку 2%-ного раствора уксусной кислоты. При попадании растворов в глаза – немедленное интенсивное промывание водой в течение длительного времени.

Хроматы и дихроматы. (K_2CrO_4 , $K_2Cr_2O_7$) При попадании концентрированных растворов на кожу, глаза, слизистые оболочки, они вызывают химические ожоги. Помимо этого, соединения хрома (VI) обладают канцерогенным действием, поражают центральную нервную систему, оказывают повреждающее действие на репродуктивные органы.

Первая помощь. При попадании растворов на поврежденную кожу немедленно промыть проточной водой в течение 15 минут и наложить повязку с нейтральной мазью. При попадании в глаза – промыть водой не менее 15 минут, закапать 30% раствор альбумида.

Соединения марганца. Токсическое действие марганца связано с его воздействием на центральную нервную систему. Кроме того соединения металла поражают легкие, сердечно-сосудистую систему, вызывают аллергический и мутагенный эффект. Перманганаты являются сильными окислителями, концентрированные растворы могут вызвать ожог.

Первая помощь. При попадании растворов внутрь необходимо вызвать рвоту и обратиться за помощью в медицинское учреждение. При попадании растворов на поврежденную кожу немедленно промыть проточной водой в течение 15 минут и наложить повязку с нейтральной мазью.

Пероксид водорода. (H_2O_2) Обладает прижигающим действием и при внешнем и при внутреннем воздействии.

Первая помощь. При попадании пероксида водорода на кожу или в глаза место поражения немедленно промыть большим количеством воды, продолжи-

тельность промывания 10-15 минут. При попадании пероксида водорода внутрь – вызвать рвоту. Обратиться за помощью в медицинское учреждение.

Соединения свинца. Нитрат свинца. Ацетат свинца. Соединения свинца поражают органы кроветворения, угнетают центральную нервную систему. Их главная опасность состоит в том, что они способны накапливаться в организме, т.е. обладают кумулятивным эффектом.

Первая помощь. При остром отравлении соединениями свинца необходимо немедленно принять вовнутрь 10% водный раствор сульфата магния.

Соли меди, цинка и других металлов обладают общетоксическим действием и способны поражать различные органы человеческого организма.

Первая помощь. При попадании на кожу водных растворов солей металлов следует немедленно промыть пораженное место большим количеством воды. При попадании растворов солей вовнутрь следует вызвать рвоту и затем обратиться за помощью в медицинское учреждение.

3.2. Лабораторная работа

Тема 1: Поверхностные явления и грубодисперсные системы

Цель: Изучить поверхностные явления на границе раздела фаз. Получить пены методом диспергирования. Определить кратность и устойчивость пен олеата натрия и желатина. Изучить разрушение пен пеногасителями.

Экспериментальная часть

Опыт №1. Образование поверхностной плёнки

Поставьте кристаллизатор, наполненный до краёв водой, на лист белой бумаги. На поверхность воды равномерно насыпьте измельченный порошок краски (метилловый фиолетовый). Крупинки краски не падают на дно, а распределяются по всей поверхности, резко выделяясь на белом фоне. Содержимое кристаллизатора кажется окрашенным в фиолетовый цвет. Теперь опустите конец стеклянной палочки в склянку с олеиновой кислотой и быстро прикоснитесь им к поверхности воды. Кислота растекается, образуя тонкую плёнку, а частицы красителя «внезапно разбегаются» к краям кристаллизатора, обнажая бесцветную поверхность. Если внесённого количества кислоты недостаточно для образования пленки по всей поверхности, то образуется светлое пятно, вокруг которого располагаются фиолетовые частицы.

Опыт №2. Получение устойчивой пены

Пена – коллоидное явление. Это распределение крошечных пузырьков газа в воде. Мыло и особенно сапонин, сильно изменяя поверхностное натяжение воды, придают стабильность пене.

В стакан поместите около 0,5 л насыщенного раствора карбоната натрия. На кончике шпателя прибавьте сапонин или др. ПАВ и размешайте палочкой. Теперь постепенно, не прекращая размешивания, прилейте раствор соляной кислоты HCl (1:3). Отметьте происходящие изменения.

Опыт №3. Изучение устойчивости пен

В цилиндр налейте 50 мл раствора пенообразователя (2%-ный раствор олеата натрия) и встряхивайте в течение 30 секунд.

После прекращения встряхивания включите секундомер и немедленно отметьте объём образовавшейся пены. Истинный объём пены получают, вычитая

из общего объема системы в цилиндре объем оставшегося раствора. Отметьте время самопроизвольного уменьшения объема пены в 2 раза (устойчивость пены). Устойчивость пены может быть определена временем «жизни» пузырька пены или определенного ее объема.

Рассчитайте кратность пены. Кратность пены определяется отношением объема пены к объему жидкости, пошедшей на ее образование.

Повторным встряхиванием в течение 30 сек восстановите пену. В пену, стабилизированную олеатом натрия, введите 1-2 мл 1 н. раствора соляной кислоты HCl . Опишите наблюдаемые явления.

В цилиндр налить 50 мл раствора пенообразователя (1%-ный раствор желатина) и встряхивать в течение 30 секунд.

После прекращения встряхивания включить секундомер и отметить объем образовавшейся пены. Рассчитать истинный объем, устойчивость, кратность пены.

Результаты непосредственных наблюдений и расчеты представьте в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты эксперимента

Пенообразователь	Объем, мл			Характеристика пен	
	Пены (Vп)	Жидкости на пенообразование (Vж)	Оставшейся жидкости	Устойчивость (ε S)	Кратность (Vп/ Vж)
Олеат натрия					
Желатин					

Какой из пенообразователей лучше: желатин или олеат натрия? Почему? Сделайте выводы в работе.

Тема 2: Избирательность адсорбции. Влияние растворителя на адсорбцию

Цель: Наблюдать адсорбцию из растворов, содержащих смеси веществ. Сравнить адсорбционную способность катионов тяжелых и легких металлов. Усвоить понятие селективности адсорбента, и чем оно определяется.

Экспериментальная часть

Опыт №1. Адсорбция из растворов, содержащих ионы кальция и свинца

В пробирку налейте примерно 5 мл 0,05 н. раствора нитрата или ацетата свинца. К 2-3 каплям раствора, взятым из пробирки, добавьте 2-3 капли 0,5 н. раствора хромата калия K_2CrO_4 , при этом образуется желтый осадок $PbCrO_4$ (на предметном стекле проводится качественная реакция на ионы Pb^{2+}). Напишите реакцию в молекулярной и ионной форме. К оставшемуся раствору в пробирке прибавить 3-5 микрошпателя активированного угля, закрыть ее пробкой и после 3-минутного встряхивания отфильтруйте раствор в чистую пробирку и убедитесь (проба с K_2CrO_4) в отсутствии ионов Pb^{2+} в растворе (качественная реакция на Pb^{2+}).

Аналогично проведите эксперимент с 0,02 н. раствором хлорида кальция $CaCl_2$.

Ионы кальция обнаруживают качественной реакцией с оксалатом аммония. Напишите реакцию в молекулярной и ионной форме.

Сделайте вывод об адсорбционных свойствах угля.

Опыт №2. Влияние растворителя на адсорбцию (избирательность адсорбции)

Вещество обычно поглощается из раствора тем лучше, чем оно меньше растворяется в данном растворителе, поэтому при замене одного растворителя другим адсорбированное ранее вещество может «вымываться».

1. Адсорбируйте метиловый фиолетовый на порошке угля из его водного раствора. Для этого налейте $\frac{3}{4}$ объема пробирки воды и подкрасьте его несколькими каплями раствора метилового фиолетового, затем всыпьте 1 г порошка угля, взболтайте и, после обесцвечивания раствора, отфильтруйте. Когда вся жидкость стечет с фильтра, добавьте на фильтр несколько мл этилового спирта. Фильтрат окрашивается метиловым фиолетовым. Объясните явление.

2. В одну пробирку прилить 5 мл слабоокрашенного *водного* раствора фуксина, в другую – 5 мл также слабоокрашенного *спиртового* раствора фуксина, внесите по 0,1 г угля (порошка), взбалтывайте 1 минуту и фильтруйте. Из спиртового раствора фуксин не адсорбируется. Почему?

Опыт №3. Адсорбция красителей на стекле

5%-ный раствор красителя (метиловый фиолетовый или метиленовый синий) налейте в колбу или склянку ёмкостью около 100 мл и сильно взболтайте, чтобы полностью смочить внутреннюю поверхность колбы. Затем краситель из колбы вылейте, налейте немного воды и промойте стенки колбы. Промывать колбу небольшими количествами воды до тех пор, пока промывная вода не станет бесцветной (обычно 3-4 раза). Теперь промойте колбу 20 мл спирта или уксусной кислоты (конц.). Неожиданно получается раствор фиолетового (или синего) цвета. Распределение красителя между растворителем и стеклом имеет различное значение для спирта и воды.

Опыт №4. Окрашивание шерсти

В три пробирки прилейте по 3 мл 0,05%-ного раствора метиленового синего. Во вторую пробирку прибавьте 5 капель 2 н. раствора *HCl* и в третью – 5 капель 2 н. раствора *NaOH*. В каждую пробирку внесите несколько белых шерстяных ниток так, чтобы концы свисали со стенок пробирок. Оставьте на 20-30 мин., после чего слейте растворы и тщательно промойте нитки холодной водой. Шерсть интенсивно окрасилась в щелочном растворе, слабо – в нейтральном и не окрасилась в кислом растворе. Какой электрический заряд имеет шерсть (белок) в кислом и щелочном растворах? Окрасится ли шерсть в кислом или щелочном растворе «кислой» краской, например эозином? Проверьте.

Опыт №5. Вытеснение с поверхности адсорбента одного вещества другим

В три пронумерованные конические колбы вместимостью 250 мл, налейте пипеткой по 20 мл 0,1 н. раствора уксусной кислоты. В колбы 1 и 2 добавьте пипеткой по 20 мл дистиллированной воды, а в колбу 3 – 20 мл ацетона. Колба №1 – контрольная. В колбы № 2 и № 3 вносите точно по 1,0 г животного угля, взвешенного на теххимических весах, и взболтайте жидкость в каждой колбе в течение 5 минут. За первыми тремя пронумерованными колбами с растворами поставьте также предварительно пронумерованные три пустые колбы ёмкостью 250 мл с воронками и сухими фильтрами и отфильтруйте в них содержимое колб первого ряда (из первой колбы первого ряда в первую колбу второго ряда, из второй – во вторую, из третьей – в третью).

Уберите первые три колбы первого ряда (из которых фильтровали) в сторону, на их место поставьте три маленькие пустые чистые колбы ёмкостью 100 мл (№1, № 2, № 3) и пипеткой на 10 мл внесите в них по 10 мл фильтрата (из первой в первую, из второй во вторую, из третьей в третью). Налейте в бюретку 0,1 н. раствор гидроксида натрия. В каждую из трех колб с 10 миллилитрами фильтрата внесите по две капли 2%-ного раствора фенолфталеина и титруйте уксус-

ную кислоту. Отметьте число миллилитров раствора едкого натра, пошедшее на каждое титрование.

Результаты измерений занесите в таблицу 4.

Таблица 4 – Экспериментальные и расчетные данные

Содержимое колб	№ колбы		
	1	2	3
Объем 0,1 н. раствора уксусной кислоты, мл	20	20	20
Объем добавленной воды, мл	20	20	—
Объем добавленного ацетона, мл	—	—	20
Масса угля, г	—	1	1
Израсходовано на титрование 0,1 н. раствора гидроксида натрия, мл			
Число мл 0,1 н. раствора едкого натра, отвечающее адсорбированной углем кислоте (по разности между первой и остальными колбами)-			
Количество адсорбированной уксусной кислоты в колбах 2 и 3 (за 100% принимается число миллилитров гидроксида натрия, пошедшее на титрование кислоты в колбе 1)			

Сделайте вывод по результатам эксперимента.

Тема 3: Получение и свойства эмульсий

Цель: *опытным путем получить некоторые эмульсии, определить их тип, объяснить их строение и устойчивость.*

Экспериментальная часть

Опыт № 1. Получение эмульсии толуола

В цилиндр с пробкой налейте около 40 мл воды и добавьте 5-10 мл толуола. Энергично взболтайте. Дайте постоять. Эмульсия не образуется и быстро наступает расслоение жидкости. Отметьте время расслоения. После этого добавьте 10 мл 2%-ного раствора мыла и энергично взболтайте. Образуется эмульсия толуола. 10 мл эмульсии перелейте в пробирку и определите время расслоения.

Опыт №2. Получение эмульсии подсолнечного масла

Взвесьте 4-5 г буры $Na_2B_4O_7$ и растворите ее при нагревании в 95 мл дистиллированной воды. Полученный раствор налейте в мерный цилиндр с притертой пробкой, добавьте 2-3 мл подсолнечного масла и сильно взболтайте. Получается устойчивая эмульсия. 10 мл эмульсии из цилиндра перелейте в пробирку и определите время расслоения.

Опыт №3. Изучение устойчивости эмульсии

Налейте в пробирку дистиллированной воды до трети её объема, добавьте несколько капель растительного масла и, закрыв пробирку резиновой пробкой, несколько раз встряхните. Получается неустойчивая эмульсия – капельки масла быстро слипаются друг с другом.

Прилейте в пробирку с эмульсией несколько капель 1%-ного раствора мыла, закройте пробкой и встряхните. Образуется устойчивая эмульсия. После того, как молекулы мыла адсорбировались на капельках масла, последние перестали слипаться друг с другом.

Опыт №4. Получение эмульсии типа м/в с применением электрической мешалки и определение ее устойчивости

Приготовьте растворы ПАВ объемом 40 мл путем разбавления исходного раствора ПАВ водой в соответствии с таблицей 5:

Таблица 5 – Растворы ПАВ различной концентрации

Номер колбы	1	2	3	4
Объем раствора ПАВ, мл	40	30	20	10
Объем воды, мл	-	10	20	30

С помощью гомогенизатора получите эмульсию. стакан вместимостью 50-100 мл установите таким образом, чтобы мешалка находилась по центру стакана и могла свободно вращаться. В стакан налейте 12,5 мл раствора ПАВ из колбы 1. Этот раствор служит дисперсионной средой эмульсии. Включите мотор и из бюретки в стакан прилейте 37,5 мл масла (диспергируемой жидкости) в течение 10 минут. После введения масла продолжайте перемешивать еще 10 минут. Таким же образом готовятся эмульсии с другими растворами ПАВ. Сразу же после получения эмульсии 10 мл ее перелейте из цилиндра в пробирку для определения времени расслоения ее на две фазы. Определите тип эмульсии. Полученные данные занесите в таблицу 6.

Таблица 6 – Экспериментальные результаты определения типа эмульсии и ее устойчивости

Концентрация ПАВ, моль/л	Концентрация эмульсии, % (об.)	Время расслоения, мин	Тип эмульсии

Опыт №5. Определение типа эмульсии

1. Каплю эмульсии и каплю воды поместите на предметное стекло, стекло наклоните так, чтобы капли пришли в соприкосновение. Если капли сольются, то дисперсной фазой является вода, если не сольются – масло.

2. На фильтровальную бумагу нанесите каплю эмульсии. Если средой является вода, то капля сразу всасывается бумагой, на которой остается жирное пятно. Капли эмульсии в/м не всасываются.

3. Эмульсию налейте в пробирку и добавьте несколько капель красителя метиленового синего, растворимого в воде. Эмульсия м/в окрашивается в синий цвет, эмульсия в/м – не окрашивается.

Тема 4: Получение золей при химических реакциях и изучение их свойств

Цель: опытным путем получить некоторые золи и ознакомиться с их свойствами.

Экспериментальная часть

Опыт №1. Получение золя кремниевой кислоты и превращение его в гель

Этот опыт основан на получении кремниевой кислоты вытеснением из растворимых силикатов более сильными кислотами.

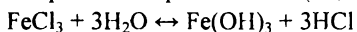
В пробирку налейте около 1/3 объема 0,1 н. раствора HCl и добавьте к ней при постоянном перемешивании 8-10 капель разбавленного жидкого стекла (раствора силиката натрия Na_2SiO_3). В каком виде образуется кремниевая кислота? Выпадает ли она в осадок или образуется опалесцирующий коллоидный раствор?

Теперь пробирку осторожно нагрейте в пламени спиртовки. Какие изменения произошли в пробирке при нагревании? Запишите уравнение реакции получения гидрозоля кремниевой кислоты H_2SiO_3 в избытке соляной кислоты. Составьте схему строения коллоидных частиц, учитывая, что в ядро мицеллы входят SiO_2 и H_2O , а в адсорбционный слой-ионы SiO_3^{2-} .

Опыт №2. Образование золя гидроксида железа (III)

! Опыт один на группу. В стакане на 250 мл на электрической плитке нагрейте до кипения ≈ 150 мл дистиллированной воды. Не снимая стакан, плитку выключите и небольшой струей вылейте в воду 5-10 мл 0,1 М. раствора $FeCl_3$. Наблюдайте появление раствора интенсивного красно-коричневого цвета.

Этот опыт основан на гидролизе хлорида железа (III).

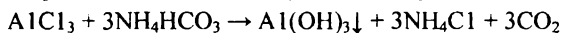


Напишите формулу коллоидной частицы гидроксида железа (III), считая, что в адсорбционном слое находятся ионы Fe^{3+} . Составьте схему мицеллы золя $Fe(OH)_3$.

Полученный золь охладите под краном до комнатной температуры. Определите заряд с помощью полоски фильтровальной бумаги.

Опыт №3. Получение золя гидроксида алюминия посредством пептизации

1. В стакан (емкость 50 мл) к 20 мл воды добавьте 15 капель раствора $AlCl_3$ с массовой долей 20 %, по каплям при энергичном перемешивании добавьте раствор NH_4HCO_3 с массовой долей 10 % до тех пор, пока выпадающий осадок гидроксида алюминия станет растворяться с трудом. Пептизатором служит избыток хлорида алюминия, не вступившего в реакцию.



2. При смешивании растворов в обратном порядке образуется золь, имеющий другой заряд. В стакан отмерьте 5 мл раствора NH_4HCO_3 , разбавьте в четыре раза и добавьте к полученному разбавленному раствору при встряхивании 2-3 капли 20%-ного раствора $AlCl_3$. Осадок $Al(OH)_3$ пептизируется образовавшимся при реакции NH_4OH . В отчете для всех полученных зольей укажите способ получения и химизм процесса получения золя, составьте формулу мицеллы, отмечая цвет золя.

Опыт №4. Получение золя оксида марганца (IV)

Отмерьте цилиндром в пробирку 5 мл 0,1 н. раствора $KMnO_4$. Тщательно перемешивая раствор, добавляйте по каплям 1%-ный раствор перекиси водорода H_2O_2 до тех пор, пока взятая стеклянной палочкой и нанесенная на фильтровальную бумагу капля раствора не перестанет окрашивать бумагу в розовый цвет.

Получается темно-коричневый отрицательный золь MnO_2 . Какая реакция лежит в основе получения золя? Напишите формулу этого золя, имея в виду, что он стабилизируется $KMnO_4$.

Опыт №5. Получение золя иодида серебра с разноионными зарядами частиц

1. Налейте в пробирку 2-3 мл 0,05 М. раствора KI и из пипетки медленно добавьте 4-10 капель раствора нитрата серебра, все время сильно встряхивая раствор. Запишите цвет золя иодида серебра и уравнение реакции образования иодида серебра в молекулярном виде.

2. Налейте в пробирку 1 мл 0,05 М. раствора нитрата серебра и медленно добавьте при постоянном встряхивании 5-10 капель 0,05 М. раствора иодида калия.

3. Напишите формулу золя AgI , образованного (стабилизированного) в первом случае избытком нитрата серебра, а во втором случае избытком KI .

Опыт №6. Получение золь серы и канифоли

1. В пробирку поместите 1-2 мл дистиллированной воды и добавьте 0,5-1 мл насыщенного раствора серы в абсолютном спирте. Закройте пробирку и встряхните. Объясните наблюдаемое явление.

2. В пробирку влейте 4-5 мл воды и 5-10 капель 2%-ного раствора канифоли в спирте. Встряхните пробирку, предварительно закрыв её пробкой. В пробирке получается молочно-белая жидкость – опалесцирующий золь канифоли. Теперь прибавьте в цилиндр несколько капель концентрированной соляной кислоты и снова встряхните. Частицы канифоли собираются в хлопья и быстро оседают на дно пробирки. Объясните явление.

Опыт №7. Получение золя серебра

Налейте в пробирку 5 мл 0,005 М. раствора $AgNO_3$ и добавьте 2-3 капли 0,1%-ного свежеприготовленного раствора таннина и 1-2 капли 1%-ного раствора Na_2SO_4 . Пробирку нагрейте и наблюдайте окрашивание раствора как следствие образования коллоидных частиц серебра в результате восстановления ионов серебра таннином.

Напишите формулу золя серебра.

Опыт № 8. Получение аморфного кремнезема из коллоидного раствора золя кремнезема

Для получения золя кремнезема возьмите 20 мл $\approx 0,5\%$ раствора метасиликата натрия ($\rho = 1,1 \text{ г/мл}$). Рассчитайте по уравнению реакции взаимодействия метасиликата натрия Na_2SiO_3 с соляной кислотой, количество 1н. раствора кислоты и её объем, который необходимо взять для химической реакции. Рассчитайте количество получаемого кремнезема, учитывая разложение кремниевой кислоты при нагревании. С помощью цилиндра измерьте рассчитанный объем 1н. раствора кислоты HCl . Слейте два раствора в фарфоровый тигель, учитывая, что для получения коллоида необходим избыток одного из реагентов, а именно силиката натрия. Тигель с содержимым нагревайте до кипения на плитке, наблюдая образование пленки, т.е. коагуляцию получаемого золя. По мере образования геля кремнезема происходит его обезвоживание, а при дальнейшем испарении воды наблюдается выпадение осадка в виде твердого вещества, который представляет собой аморфный кремнезем. После образования твердого остатка выпаривание воды прекращается.

После охлаждения взвесьте тигель и рассчитайте массу полученного твердого вещества. Для этого от массы тигля с твердым остатком отнимите массу

тигля. Определите содержание в твердом остатке хлорида натрия, исходя их уравнения реакции. Рассчитайте выход аморфного кремнезема и процент ошибки.

Напишите уравнение химической реакции взаимодействия метасиликата натрия с соляной кислотой.

Напишите формулу мицеллы золя кремнезема. Определите структурные части мицеллы золя кремнезема.

Результаты измерений и расчетов занесите в таблицу 7.

Таблица 7 – Определение массы аморфного кремнезема

Исходный раствор метасиликата натрия	
Объем раствора Na_2SiO_3 , V_1 (мл)	20
Массовая доля Na_2SiO_3 , C (%)	0,5
Плотность раствора Na_2SiO_3 , ρ (г/дм ³)	
Исходный раствор соляной кислоты	
Концентрация раствора HCl , C_M (моль/л)	
Объем раствора HCl , V_2 (мл)	
Кремнезем	
Теоретическая масса кремнезема, $m_{\text{теор}}$ (г)	
Практическое значение массы кремнезема, с учетом массы NaCl , $m_{\text{кр}}$ (г)	
Масса аморфного кремнезема, m_a (г)	
Выход аморфного кремнезема, η , %	
Относительная ошибка, ε (%)	

Тема 5: Влияние концентраций реагирующих веществ на процесс образования коллоидных растворов

Цель: установить и объяснить влияние концентраций реагирующих веществ на образование коллоидных растворов.

Экспериментальная часть

Опыт №1. Получение золя берлинской лазури

В пробирку налейте 1 мл 0,005 н. раствора хлорида железа (III) и добавьте 1 мл 0,005 н. раствора желтой кровяной соли $K_4[Fe(CN)_6]$. Раствор перелейте в стакан и разбавьте полученный раствор примерно 25 мл дистиллированной воды. Получается прозрачный коллоидный раствор берлинской лазури $Fe_4[Fe(CN)_6]_3$. Определите заряд с помощью полоски фильтровальной бумаги.

Составьте мицеллу коллоидного раствора берлинской лазури.

Опыт №2. Получение осадка берлинской лазури

В пробирку налейте 1 мл 0,05 н. раствора хлорида железа (III) и добавьте 1 мл 0,05 н. раствора желтой кровяной соли $K_4[Fe(CN)_6]$. Из мутного раствора выпадает осадок берлинской лазури.

Напишите реакцию образования осадка берлинской лазури.

Опыт №3. Получение геля берлинской лазури

В пробирку поместите 2-3 капли насыщенного раствора хлорида железа (III) и 2-3 капли насыщенного раствора желтой кровяной соли. Образуется

студнеобразный осадок. Часть полученного осадка перенесите в стакан со 100 мл дистиллированной воды и размешайте. Получается устойчивый золь берлинской лазури.

Объясните наблюдаемое.

Тема 6: Коагуляция. Установление порога коагуляции

Цель: ознакомиться с методами коагуляции гидрофобных и гидрофильных зольей. Приготовить золь и провести коагуляцию электролитами, содержащими ионы-коагуляторы различной величины заряда. Вычислить порог коагуляции для каждого электролита, содержащего противоионы различной валентности. Проверить выполнение правила Шульца-Гарди. Изучить явления защиты и перезарядки зольей.

Экспериментальная часть

Опыт №1. Определение порога коагуляции золя гидроксида железа (III) визуальным методом

В десять чистых пробирок налейте по 5 мл золя гидроксида железа и указанное в таблице 8 количество дистиллированной воды и раствора электролита (раствор электролита берется по указанию преподавателя). Затем содержимое пробирок хорошо перемешайте и через 30 минут отмечайте, в каких пробирках наблюдается явная коагуляция (помутнение) и последующая седиментация. При помутнении раствора в таблице ставьте знак «+»

Таблица 8 – Результаты опыта по определению порога коагуляции

Номера пробирок	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Объем золя, мл	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Объем воды, мл	5	4,5	4	3,5	3	2,5	2	1,5	1	0,5
Объем электролита, мл	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5
Общий объем смеси, мл	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Помутнение через 30 мин										

Порог коагуляции вычислите по уравнению:

$$C_k = \frac{C_{эл} \cdot V_{эл}}{V_{золь} + V_{эл}} \cdot 10^3, \text{ моль/л,}$$

где C_k – порог коагуляции, моль/л; $C_{эл}$ – концентрация электролита, моль/л; $V_{золь}$ – объем золя, мл; $V_{эл}$ – наименьший объем раствора электролита, достаточный для коагуляции, мл.

Вычислите порог коагуляции для каждого электролита и запишите результаты в таблицу 9.

Таблица 9 – Результаты опыта по определению порога коагуляции

Электролит	Коагулирующий ион	Порог коагуляции
<i>NaOH</i>		
<i>K₂SO₄</i>		
<i>K₃[Fe(CN)₆]</i>		

Опыт №2. Взаимная коагуляция золь иодида серебра и гидроксида железа (III)

В шесть сухих пробирок налейте золь иодида серебра и гидроксида железа (Ш) в количествах, указанных в таблице 10.

Взболтайте каждую пробирку, предварительно закрыв пробкой, и оставьте стоять на 2 часа. После чего отмечайте степень коагуляции в каждой пробирке и запишите цвет раствора над осадком.

Таблица 10 – Результаты опытов по взаимной коагуляции иодида серебра и гидроксида железа

Золь	Номер пробирок					
	1	2	3	4	5	6
Гидрозоль гидроксида железа, мл						
Гидрозоль иодида серебра, мл						
Окраска раствора над осадком						

Сделайте выводы о результатах экспериментов.

4. ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

4.1. Контрольные вопросы

1. Что называют дисперсными системами? Какова их классификация?
2. Что называется эмульсией? С помощью каких веществ получается устойчивая эмульсия?
3. Что такое пена? Приведите примеры.
4. Что такое ПАВ? Как ПАВ зависит от его молярной массы в пределах гомологического ряда?
5. Что называется адсорбцией? Какие факторы влияют на адсорбцию?
6. Почему адсорбция процесс самопроизвольный?
7. Как экспериментально определить тип адсорбции?
8. Чем понятие «абсорбция» отличается от понятия «адсорбция»?
9. Какие дисперсные системы относят к коллоидным? В чём проявляется количественная схожесть и качественное отличие между коллоидными и истинными растворами?
10. Назовите виды устойчивости дисперсных систем. Кем введена эта характеристика?
11. Какие известны методы получения коллоидных растворов? В чем их сущность?
12. Достаточно ли только увеличения дисперсности для получения коллоидной системы?
13. Что собой представляет мицелла?
14. В чем отличие гидрофобных золь от гидрофильных золь? Как получают гидрофильные золи?
15. Чем обуславливается заряд коллоидной частицы? Как определить знак заряда?
16. Каково строение ДЭС?
17. Что понимают под порогом коагуляции?
18. Что такое электрофорез и электроосмос?
19. Чем электрофорез отличается от электролиза?

4.2. Примеры решения типовых задач к теме «Строение коллоидных частиц»

Задача 1. Определение удельной и общей площади поверхности раздробленных частиц золя.

Вычислите удельную поверхность частиц золя золота, полученного в результате дробления 0,5 г золота на частицы шарообразной формы диаметром $7,0 \cdot 10^{-9}$ м. Плотность золота $\rho = 19320$ кг/м³.

Решение. Под удельной поверхностью $S_{уд}$ раздробленных частиц понимают суммарную площадь поверхности всех частиц вещества, общий объем которых составляет $1,0 \cdot 10^{-6}$ м³. Удельная поверхность $S_{уд}$ равна отношению площади поверхности раздробленных частиц S к объему раздробленного вещества V :

$$S_{уд} = S/V$$

Если раздробленные частицы шарообразной формы, то:

$$S_{уд} = 3/r,$$

где r – радиус шарообразной частицы.

Определяем объем, занимаемый 0,5 г золота:

$$V = 0,5 \cdot 10^{-3} / 19320 = 2,58 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3.$$

Удельная поверхность раздробленных шарообразных частиц золота равна

$$S_{уд} = 3/3,5 \cdot 10^{-9} = 0,86 \cdot 10^9 \text{ м}^{-1}.$$

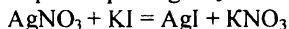
Находим общую площадь поверхности S частиц золя золота:

$$S = S_{уд} V = 0,86 \cdot 10^9 \cdot 2,58 \cdot 10^{-8} = 2,22 \text{ м}^2.$$

Задача 2. Определение заряда коллоидных частиц.

Золь иодида серебра AgI получен при добавлении к 0,02 л 0,01 н. раствора KI 0,028 л 0,005 н. AgNO_3 . Определите заряд частиц полученного золя и напишите формулу его мицеллы.

Решение. При смешивании растворов AgNO_3 и KI протекает реакция

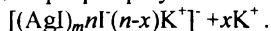


Определяем количество AgNO_3 и KI , участвующих в реакции:

$$\text{AgNO}_3: 0,005 \cdot 0,028 = 1,4 \cdot 10^{-4} \text{ ммоль};$$

$$\text{KI}: 0,02 \cdot 0,01 = 2,0 \cdot 10^{-4} \text{ ммоль}.$$

Расчет показывает, что в растворе избыток KI , следовательно, ядром коллоидных частиц золя иодида серебра будут адсорбироваться ионы I^- , и частицы золя приобретают отрицательный заряд. Противоионами являются ионы K^+ . Формула мицеллы золя иодида серебра при условии избытка KI :



4.3. Контрольные задания к теме «Строение коллоидных частиц»

1. Определите удельную поверхность и суммарную площадь поверхности частиц золя серебра, полученного при дроблении 1,2 г серебра на частицы шарообразной формы с диаметром $1,0 \cdot 10^{-18}$ м. плотность серебра $\rho = 10500$ кг/м³.

2. Вычислите суммарную площадь поверхности шарообразных частиц золя ртути с диаметром $2,5 \cdot 10^{-8}$ м. золь получен дроблением 5,2 г ртути. Плотность ртути 13546 кг/м³.

3. Рассчитайте суммарную площадь поверхности частиц золя сульфида мышьяка и число частиц в 0,5 л золя, если 1 л золя содержит 2,25 г As_2S_3 . час-

тицы золя имеют форму кубиков с длиной ребра $1,2 \cdot 10^{-7}$ м. Плотность As_2S_3 равна 3506 кг/м^3 .

4. Аэрозоль получен распылением $0,5 \text{ кг}$ угля в 1 м^3 воздуха. Частицы аэрозоля имеют шарообразную форму, диаметр частицы $8 \cdot 10^{-5}$ м. Определите удельную поверхность и число частиц в этом аэрозоле. Учитывая, что $\rho(C) = 1,8 \text{ кг/м}^3$.

5. При пропускании избытка сероводорода в раствор соли мышьяка (III) $AsCl_3$ получили золь сульфида мышьяка. Учитывая условия образования, напишите формулу мицеллы золя и определите знак его заряда.

6. Золь кремниевой кислоты H_2SiO_3 был получен при взаимодействии растворов K_2SiO_3 и HCl . Напишите формулу мицеллы золя и определите, какой из электролитов был в избытке, если противоионы в электрическом поле движутся к катоду.

7. Напишите формулу мицеллы золя золота, полученного распылением золота в растворе $NaAuO_2$ (ядро коллоидной частицы $[Au]_m$).

8. Составьте формулу мицеллы золя гидроксида алюминия, полученного при глубоком гидролизе сульфата алюминия.

9. К раствору, содержащему ионы $Cu(II)$ прилили раствор желтой кровяной соли $K_4[Fe(CN)_6]$. При этом образуется гидрозоль гексацианоферрат (II) меди, который стабилизирован гексацианоферратом (III) калия. Написать формулу мицеллы и показать строение двойного электрического слоя.

10. Напишите формулу мицеллы зольей: а) гидроксида хрома (III), стабилизированного избытком раствора хлорида хрома (III); б) иодида свинца (II), стабилизированного избытком раствора нитрата свинца (II); в) иодида свинца (II), стабилизированного избытком раствора иодида калия; г) гидроксида никеля (II), стабилизированного избытком раствора нитрата никеля (II); д) бромида серебра, стабилизированного избытком раствора нитрата серебра; е) бромида серебра, стабилизированного избытком раствора бромида натрия; ж) гидроксида свинца (II), стабилизированного избытком растворенитрата свинца (II); з) гидроксида олова (II), стабилизированного избытком раствора бромида олова (II); и) гидроксида олова (II), стабилизированного избытком раствора нитрата кобальта (II); к) сульфата висмута (III), стабилизированного избытком раствора гидросульфида калия.

11. Какой объем $0,008 \text{ н.}$ раствора $AgNO_3$ надо прибавить к $0,025 \text{ л}$ $0,016 \text{ н.}$ раствора KI , чтобы получить отрицательно заряженные частицы золя иодида серебра? Напишите формулу мицеллы.

12. Какой объем $0,005 \text{ н.}$ раствора нитрата серебра надо прибавить к 20 см^3 $0,015 \text{ н.}$ раствора иодида калия, чтобы получить положительный золь иодида серебра? Написать формулу мицеллы.

13. Золь бромида серебра был получен путём смешивания равных объемов $0,008 \text{ н.}$ раствора KBr и $0,009 \text{ н.}$ раствора $AgNO_3$. Определите знак заряда частиц золя и напишите формулу мицеллы.

14. Какой объем $0,001 \text{ М.}$ раствора $FeCl_3$ надо прибавить к $0,03 \text{ л}$ $0,002 \text{ н.}$ раствора $AgNO_3$, чтобы частицы золя хлорида серебра в электрическом поле двигались к аноду?

15. Золь гидроксида железа (III) получен смешиванием равных объемов $0,002 \text{ н.}$ раствора $NaOH$ и $0,0003 \text{ н.}$ раствора $Fe_2(SO_4)_3$. Какой знак заряда имеют частицы золя? Составьте формулу мицеллы.

16. Какие объемы 0,029%-ного раствора NaCl и 0,001 н. раствора AgNO₃ надо смешать, чтобы получить не заряженные частицы золя хлорида серебра? Плотность раствора хлорида натрия принять равной единице.

17. Какой объем 0,001 М. раствора AlCl₃ надо добавить к 0,02 л 0,003 М. раствора H₂S, чтобы не произошло образование золя сульфида мышьяка, а выпал осадок As₂S₃?

18. Для получения золя AgI к 20 см³ 0,05 н. раствору KI прилили 0,03 н. раствор AgNO₃. какой объем раствора AgNO₃ необходимо взять, чтобы получить мицеллу AgI, где гранула несет положительный заряд. Составить полную мицеллярную формулу данного золя, показать строение двойного электрического слоя и кривую падения потенциала.

4.4. Примеры решения типовых задач к теме «Коагуляция зольей. Порог коагуляции электролитов»

Задача 1. Вычисление порога коагуляции электролита с учетом его концентрации.

В три колбы было налито по 100 см³ золя Fe(OH)₃. чтобы вызвать коагуляцию золя, потребовалось добавить в первую колбу 10,5 см³ 1 н. раствора хлорида калия, во вторую – 62,5 см³ 0,01 н. раствора сульфата натрия, в третью – 37,0 см³ 0,001 н. раствора фосфата натрия. Вычислить порог коагуляции каждого электролита и определить знак заряда частиц золя.

Решение. Минимальное количество электролита, прибавляемое к золю, которое может вызвать коагуляцию золя, называют порогом коагуляции *c* (ммоль/л).

Порог коагуляции можно вычислить по формуле:

$$c = n1000/V,$$

где *n* – количество раствора электролита, ммоль; *V* – объем раствора, см³.

Определяем, сколько ммоль KCl содержится в 10,5 см³ 1Н раствора хлорида калия:

$$n(\text{KCl}) = 10,5 \cdot 1 = 10,5 \text{ ммоль.}$$

Общий объем раствора (золь + раствор электролита) равен:

$$100 + 10,5 = 110,5 \text{ см}^3.$$

Вычисляем порог коагуляции (ммоль/л) для хлорида калия:

$$c_{\text{KCl}} = 10,5 \cdot 1000 / 110,5 = 95 \text{ ммоль/л}$$

Аналогично рассчитываем пороги коагуляции для электролитов Na₂SO₄ и Na₃PO₄. В 62,5 см³ 0,01 н. раствора Na₂SO₄ содержится:

$$62,5 \cdot 0,01 = 0,625 \text{ ммоль.}$$

Порог коагуляции равен:

$$c_{\text{Na}_2\text{SO}_4} = 0,625 \cdot 1000 / 162,5 = 3,8 \text{ ммоль/л.}$$

В 37,0 см³ 0,001 н. раствора Na₃PO₄ содержится:

$$37,0 \cdot 0,001 = 0,037 \text{ ммоль Na}_3\text{PO}_4.$$

Порог коагуляции равен:

$$c_{\text{Na}_3\text{PO}_4} = 0,037 \cdot 1000 / 137 = 0,27 \text{ ммоль/л.}$$

Электролиты KCl, Na₂SO₄ и Na₃PO₄ содержат катионы одинакового заряда, а анионы – разного заряда. Чем заряд иона больше, тем порог коагуляции ока-

зывается меньше. Самый наименьший порог коагуляции и наивысшая коагулирующая способность у ионов PO_4^{3-} . Следовательно, частицы золя $\text{Fe}(\text{OH})_3$ заряжены положительно.

Задача 2. Определение коагулирующей способности растворов электролитов.

Пороги коагуляции золя $\text{Fe}(\text{OH})_3$ для электролитов KI и $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ соответственно равны 10,0 и 0,195 ммоль/л золя. Во сколько раз коагулирующая способность бихромата калия больше, чем у иодида калия?

Решение. Коагулирующие способности электролитов являются величинами, обратными их порогам коагуляции:

$$P = 1/c.$$

Таким образом

$$P_{\text{KI}} = 1/10 = 0,1; P_{\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7} = 1/0,195 = 5,1.$$

$$P_{\text{KI}} : P_{\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7} = 0,1 : 5,1 = 1 : 51.$$

Для золя $\text{Fe}(\text{OH})_3$ коагулирующая способность бихромата калия больше, чем иодида калия, в 51 раз.

Задача 3. Вычисление порога коагуляции электролита с учетом заряда иона – коагулятора.

Порог коагуляции раствора KNO_3 для золя гидроксида алюминия, частицы которого заряжены положительно, равен 60,0 ммоль/л. Рассчитайте порог коагуляции $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ для этого золя.

Решение. Коагуляцию золя вызывает тот из ионов прибавленного электролита, заряд которого противоположен заряду коллоидной частицы. Коагулирующая способность иона определяется его зарядом. Чем больше заряд иона, тем больше его коагулирующая способность. Значение порогов коагуляции электролитов с одно-, двух- и трехзарядными ионами относятся как числа 29:11:1, следовательно, порог коагуляции $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ будет в 729 раз меньше, чем у KNO_3 , т.е.

$$c_{\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]} = 60/729 = 0,082 \text{ ммоль/л.}$$

4.5. Контрольные задания к теме

«Коагуляция зольей. Порог коагуляции электролитов»

1. Золь хлорида серебра получен смешиванием равных объемов 0,0095M раствора хлорида калия и 0,012N раствора нитрата серебра. Какой из электролитов: $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$, $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ или MgSO_4 будет иметь наибольший порог коагуляции для данного золя?

2. Концентрации коагуляции электролитов (моль/л) для данного золя оказались равными:

$$c_{\text{KNO}_3} = 50,0; \quad c_{\text{MgCl}_2} = 0,717; \quad c_{\text{AlCl}_3} = 0,093;$$

$$c_{\text{NaCl}} = 51,0; \quad c_{\text{MgSO}_4} = 0,810; \quad c_{\text{Al}(\text{NOH}_3)_3} = 0,095.$$

Определить знак заряда золя.

3. Пороги коагуляции электролитов для золя иодида серебра (моль/л):

$$c_{\text{KCl}} = 256,0; \quad c_{\text{Ba}(\text{NO}_3)_2} = 6,0; \quad c_{\text{Al}(\text{NO}_3)_3} = 0,067;$$

$$c_{\text{KNO}_3} = 260,0; \quad c_{\text{Sr}(\text{NO}_3)_2} = 7,0.$$

Определить знак заряда частиц данного золя и вычислить коагулирующую способность каждого из электролитов.

4. Пороги коагуляции золя электролитами оказались равными (моль/л):

$$c_{\text{NaNO}_3} = 250,0; \quad c_{\text{Mg(NO}_3)_2} = 20,0; \quad c_{\text{Fe(NO}_3)_3} = 0,5.$$

Какие ионы электролитов являются коагулирующими? Как заряжены частицы золя?

5. К 100 см³ 0,03%-ного раствора хлорида натрия добавлено 250 см³ 0,001N нитрата серебра. Для изучения коагуляции к полученному золю хлорида серебра добавлены следующие электролиты: KBr, Ba(NO₃)₂, K₂CrO₄, MgSO₄ и AlCl₃. Какой из добавленных электролитов имеет наименьший порог коагуляции; наименьшую коагулирующую способность?

6. Вычислите порог коагуляции раствора сульфата натрия, если добавление 0,003 л 0,1N Na₂SO₄ вызывает коагуляцию 0,015 л золя.

7. Пороги коагуляции для некоторого гидрозольа равны: C_{NaNO₃} = 300 моль/л, C_{MgCl₂} = 25 моль/м³, C_{Na₂SO₄} = 295 моль/м³, C_{AlCl₃} = 0,5 моль/м³. Какой заряд несёт частица золя?

8. Какой объем 0,0002M Fe(NO₃)₃ требуется для коагуляции 0,025 л золя сульфида мышьяка, если порог коагуляции C_{Fe(NO₃)₃} = 0,067 ммоль/л?

9. Порог коагуляции раствора дихромата калия молярной концентрации эквивалента 0,02 моль/л по отношению к золю оксида алюминия равен 1,26 моль/м³. Рассчитать объем раствора электролита, который необходим для коагуляции этого золя объемом 10 мл.

10. Для положительного золя Fe(OH)₃ коагулирующими ионами являются анионы. Пороги коагуляции солей с одновалентными анионами близки между собой и составляют в среднем 10,69 ммоль/л золя. Во сколько раз коагулирующая способность двухвалентных анионов больше, чем одновалентных?

11. Золь гидроксида меди получен при сливании 0,1 л 0,05N NaOH и 0,25 л 0,001N Cu(NO₃)₂. Какой из прибавленных электролитов – KBr, Ba(NO₃)₂, K₂CrO₄, MgSO₄, AlCl₃ имеет наименьший порог коагуляции?

12. Коагуляция золя иодида серебра, частицы которого заряжены отрицательно, вызывается катионами добавляемых электролитов. Порог коагуляции LiNO₃ для этого золя равен 165 ммоль/л. Вычислите порог коагуляции Ba(NO₃)₂ и Al(NO₃)₃ для этого золя.

13. Как расположатся пороги коагуляции в ряду CrCl₃, Ba(NO₃)₂, K₂SO₄ для золя кремниевой кислоты, частицы которого заряжены отрицательно?

14. Золи каких веществ: гидроксида железа (III), кремниевой кислоты, трехсернистого мышьяка, иодида серебра (положительный золь), иодида серебра (отрицательный золь) следует смешать, чтобы произошла взаимная коагуляция?

15. Для очистки водопроводной воды от взвешенных частиц глины и песка добавляют небольшое количество сульфата алюминия. Почему в этом случае наблюдается более быстрое оседание взвешенных частиц? Дать обоснованный ответ.

5 ЛИТЕРАТУРА

1. Глинка, Н.Л. Общая химия: учебное пособие для вузов / Под ред. В.А. Рабиновича. – Л.: Химия, 1983. – 704 с.
2. Воюцкий, С.С. Курс коллоидной химии / С. С.Воюцкий, – М.: Химия, 1976.
3. Гамаева, О.С. Сборник задач и упражнений по физической и коллоидной химии: учеб. пособие для техникумов. – М.: Высш. шк., 1974. – 272 с.
4. Лабораторные работы и задачи по коллоидной химии / Под ред. Ю.Г. Фролова и А. С. Гродского. – М.: Химия, 1986. – 216 с.
5. Малахова, А. Я. Практикум по физической и коллоидной химии / А.Я Малахова. – Минск: Вышэйшая школа, 1974.
6. Некрасов, Б.В. Учебник общей химии. – М.: Химия, 1972. – 472 с.
7. Письменко, В.Т. Коллоидная химия: методические указания к лабораторной работе по коллоидной химии / В.Т. Письменко, Е.Н. Калюкова. Ульяновск: УлГТУ, 2007. – 76 с.
8. Романцева, Л.М. Сборник задач и упражнений по общей химии: учеб. пособие для нехим. спец. вузов / Л.М. Романцева, З.Л. Лещинская, В.А. Суханова. – М.: Высш. шк., 1991. – 288 с.
9. Фролов, Ю. Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы. – М.: Химия, 1988. – 464 с.
10. Хмельницкий, Р.А. Физическая и коллоидная химия. – М.: Высшая школа, 1988. – 423 с.

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

Составители:

Левчук Наталья Владимировна
Кобринец Лариса Александровна

Методические указания

к лабораторным и практическим работам по курсам «Химия»,
«Общая, неорганическая и физическая химия» по теме:

«Химия поверхностных явлений и дисперсных систем»

для студентов специальностей:

- 1-53 01 01 Автоматизация технологических процессов и производств
- 1-70 04 03 Водоотведение, водоснабжение, очистка природных и сточных вод
- 1-74 05 01 Мелиорация и водное хозяйство
- 1-70 04 02 Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна

Ответственный за выпуск БАСОВ С.В.

Редактор СТРОКАЧ Т.В.

Корректор НИКИТЧИК Е.В.

Компьютерная вёрстка КАРМАШ Е.Л.

Подписано к печати 25.02.2010 г. Формат 60x84 ¹/₁₆. Бумага «Снегурочка».

Гарнитура Times New Roman. Усл. п. л. 2,09. Уч. изд. л. 2,25.

Тираж 50 экз. Заказ № 208.

Отпечатано на ризографе учреждения образования
«Брестский государственный технический университет».

224017, Брест, ул. Московская, 267.