

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Нижнекамский химико-технологический институт (филиал)  
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»  
(НХТИ ФГБОУ ВО «КНИТУ»)



УТВЕРЖДАЮ  
Заместитель директора по УР  
Н.И.Никифорова

«30» 05 2022г.

### ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

по дисциплине **Б1.О.22 «Коллоидная химия»**

направление подготовки:

18.03.01 Химическая технология

профили подготовки:

«Химическая технология органических веществ»

«Технология переработки полимеров»

«Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов»

(наименование профиля/специализации)

квалификация:

бакалавр

форма обучения:

очная, очно-заочная, заочная

Нижнекамск, 2022г.

Составитель ФОС:  
доцент кафедры ОХБТ



Э.Н. Нуриева

ФОС рассмотрен и одобрен на заседании кафедры ОХБТ,  
протокол от «22» апреля 2022г. № 8

Зав. кафедрой



Л.И.Агзамова

**СОГЛАСОВАНО**

Протокол заседания кафедры НХС, реализующей подготовку основной образовательной  
программы, от «06» апреля 2022г. № 8

Зав. кафедрой



Р.З.Агзамов

Эксперт: ответственный за ООП,  
разработчик учебного плана  
доцент каф.НХС НХТИ ФГБОУ  
ВО «КНИТУ»



А.И.Новожилова

**Перечень компетенций и индикаторов достижения компетенций с указанием этапов формирования в процессе освоения дисциплины**

**Компетенция: ОПК-1** Способен изучать, анализировать, использовать механизмы химических реакций, происходящих в технологических процессах и окружающем мире, основываясь на знаниях о строении вещества, природе химической связи и свойствах различных классов химических элементов, соединений, веществ и материалов.

**Индикаторы достижения компетенции:**

**ОПК 1.1** знает теоретические основы химии, принципы строения вещества, основы классификации соединений, способы получения и химические свойства соединений, основные механизмы протекания химических реакций, основные законы и соотношения физической химии, основные законы термодинамики поверхностных явлений, свойства дисперсных систем, методы исследования поверхностных явлений дисперсных систем.

**ОПК 1.2** умеет использовать химические законы, справочные данные и количественные соотношения в химических реакциях для решения профессиональных задач, прогнозировать влияние различных факторов на равновесие, составлять кинетические уравнения, классифицировать электроды и электрохимические цепи, проводить расчеты с использованием основных соотношений термодинамики поверхностных явлений и расчеты основных характеристик дисперсных систем.

**ОПК 1.3** владеет навыками описания свойств простых и сложных веществ на основе электронного строения, экспериментальными навыками определения физических и химических свойств соединений, установления структуры соединений, навыками решения типовых задач в области химической термодинамики, фазовых равновесий и фазовых переходов, электрохимии и химической кинетики.

Индикаторы достижения компетенции	Этапы формирования компетенции (указать все темы из РПД)				Наименование оценочного средства
	Лекции	Практические занятия, лабораторный практикум	Лабораторные занятия	Курсовой проект (работа)	
ОПК-1.1	Тема 1, тема 2, тема 3, тема 4, тема 5.	Не предусмотрены	Тема1, тема 2, тема 3.	Не предусмотрена	<i>Лабораторная работа. Коллоквиум. Контрольная работа у заочников;зачет с оценкой.</i>
ОПК-1.2	Тема 1, тема 2, тема 3, тема 4, тема 5.	Не предусмотрены	Тема1, тема 2, тема 3.	Не предусмотрена	<i>Лабораторная работа. Коллоквиум. Контрольная работа у заочников;зачет с оценкой.</i>
ОПК-1.3	Тема 1, тема 2, тема 3, тема 4, тема 5.	Не предусмотрены	Тема1, тема 2, тема 3.	Не предусмотрена	<i>Лабораторная работа. Коллоквиум. Контрольная работа у заочников;зачет с оценкой.</i>

**Перечень оценочных средств по дисциплине (модулю)**

**4 – семестр – очная форма:**

<b>Оценочные средства</b>	<b>Кол-во</b>	<b>Min, баллов</b>	<b>Max, баллов</b>
<b>Лабораторная работа</b>	<b>3/2</b>	<b><math>3*4=12/2*6=12</math></b>	<b><math>3*8=24/2*10=20</math></b>
<b>Коллоквиум</b>	<b>4/4</b>	<b><math>4*6=24/</math></b>	<b><math>4*9=36/4*10=40</math></b>
<b>Экзамен</b>		<b>24</b>	<b>40</b>
<b>Итого</b>		<b>36</b>	<b>60</b>

**3 – семестр –очно- заочная форма:**

<b>Оценочные средства</b>	<b>Кол-во</b>	<b>Min, баллов</b>	<b>Max, баллов</b>
<b>Лабораторная работа</b>	<b>1</b>	<b><math>1*9=9</math></b>	<b><math>1*15=15</math></b>
<b>Коллоквиум</b>	<b>2</b>	<b><math>1*9=9</math></b>	<b><math>1*15=15</math></b>
<b>Контрольная работа</b>	<b>1</b>	<b><math>1*18=18</math></b>	<b><math>1*30=30</math></b>
<b>Экзамен</b>		<b>24</b>	<b>40</b>
<b>Итого</b>		<b>36</b>	<b>60</b>

**4 – семестр – заочная форма:**

<b>Оценочные средства</b>	<b>Кол-во</b>	<b>Min, баллов</b>	<b>Max, баллов</b>
<b>Лабораторная работа</b>	<b>1</b>	<b><math>1*9=9</math></b>	<b><math>1*15=15</math></b>
<b>Коллоквиум</b>	<b>2</b>	<b><math>1*9=9</math></b>	<b><math>1*15=15</math></b>
<b>Контрольная работа</b>	<b>1</b>	<b><math>1*18=18</math></b>	<b><math>1*30=30</math></b>
<b>Экзамен</b>		<b>24</b>	<b>40</b>
<b>Итого</b>		<b>36</b>	<b>60</b>

**Рейтинг по дисциплине**

<b>Итоговая сумма баллов с учетом успешной промежуточной аттестации</b>	<b>Оценка</b>
<b>87 –100</b>	<b>5 (отлично)</b>
<b>74 – 86</b>	<b>4 (хорошо)</b>
<b>60 – 73</b>	<b>3 (удовлетворительно)</b>
<b>0 – 59</b>	<b>2 (не зачтено)</b>

### *Шкала оценивания*

Цифровое выражение	Выражение в баллах:	Словесное выражение	Критерии оценки индикаторов достижения при форме контроля:	
			экзамен / зачет с оценкой	зачет
5	87 - 100	Отлично (зачтено)	Оценка «отлично» выставляется студенту, если теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов; исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно излагает материал; свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний; использует в ответе дополнительный материал все предусмотренные программой задания выполнены, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к максимальному; анализирует полученные результаты; проявляет самостоятельность при выполнении заданий	Оценка «зачтено» выставляется студенту, если ответы на вопросы по темам дисциплины последовательны, логически изложены, допускаются незначительные недочеты в ответе студента, такие как отсутствие самостоятельного вывода, речевые ошибки и пр.
4	74 - 86	Хорошо (зачтено)	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если теоретическое содержание курса освоено полностью, необходимые практические компетенции в основном сформированы, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество их выполнения достаточно высокое. Студент твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.	
3	60 - 73	Удовлетворительно (зачтено)	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, большинство предусмотренных программой заданий выполнено, но в них имеются ошибки, при ответе на поставленный вопрос студент допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, наблюдаются нарушения логической последовательности в изложении программного материала.	
2	Ниже 60	Неудовлетворительно (не зачтено)	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если он не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы, необходимые практические компетенции не сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий не выполнено, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к минимальному	Оценка «не зачтено» выставляется студенту, если студент не знает основных понятий темы дисциплины, не отвечает на дополнительные и наводящие вопросы преподавателя.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Нижекамский химико-технологический институт (филиал)  
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»  
*Факультет- технологический*  
*Кафедра - ОХБТ*  
Направление 18.03.01 «Химическая технология»  
Профиль/программа:  
«Химическая технология органических веществ»  
«Технология переработки полимеров»  
«Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов»

### Семестр 3- 4

#### Вопросы для подготовки к зачету с оценкой по курсу дисциплины **Б1.О.22 «Коллоидная химия»**

1. Предмет коллоидной химии. Основные понятия.
2. Количественные характеристики дисперсных систем.
3. Классификация дисперсных систем: по общему признаку, по частному признаку.
4. Характеристики дисперсной фазы.
5. Природа поверхностной энергии. Поверхностное натяжение.
6. Экспериментальные методы определения поверхностного натяжения.
7. Ориентация молекул ПАВ в поверхностном слое. Уравнение Шишковского.
8. ПАВ, ПИАВ и ПНАВ.
9. Уравнение адсорбции Гиббса. Анализ.
10. Поверхностная активность. Правило Траубе-Дюкло.
11. Основные понятия и классификация адсорбционных процессов.
12. Количественные характеристики адсорбции.
13. Уравнение адсорбции Генри.
14. Уравнение адсорбции Фрейндлиха.
15. Основные теории адсорбции:
  - Теория мономолекулярной адсорбции Ленгмюра;
  - Теория полимолекулярной адсорбции Поляни;
  - Теория БЭТ.
16. Молекулярная адсорбция. Особенности.
17. Ионная адсорбция. Особенности. Факторы, влияющие на данную адсорбцию.
18. Ионно-обменная адсорбция. Особенности.
19. Капиллярная конденсация.
20. Полное смачивание, полное несмачивание, неполное смачивание.
21. Краевой угол. Избирательность смачивания.
22. Адгезия и когезия.
23. Получение дисперсных систем.
24. Очистка дисперсных систем.
25. Строение мицеллы.
26. Два вида устойчивости дисперсных систем.
27. Коагуляция. Правила коагуляции.
28. Кинетика коагуляции электролитов.
29. Быстрая и медленная коагуляция.
30. Теория устойчивости и коагуляции лиофобных дисперсных систем.
31. Факторы устойчивости лиофобных золей. Коллоидная защита.
32. Виды коагуляции электролитами.

33. Электрокинетические свойства дисперсных систем: электрофорез, электроосмос, потенциал седиментации, потенциал течения.
34. Пути образования ДЭС.
35. Строение ДЭС.
36. Теории строения ДЭС.
37. Влияние различных факторов на электрокинетический потенциал. Методы определения электрокинетического потенциала.
38. Молекулярно-кинетические свойства дисперсных систем: броуновское движение. Уравнение Эйнштейна и Смолуховского.
39. Диффузия. Законы диффузии. Удельный поток диффузии.
40. Уравнение Эйнштейна для коэффициентов диффузии.
41. Уравнение Эйнштейна и Смолуховского.
42. Осмос. Осмотическое давление.
43. Седиментация. Седиментационная или кинетическая устойчивость.
44. Поток диффузии и поток седиментации.
45. Седиментационный анализ.
46. Экспериментальные приемы седиментационного анализа.
47. Оптические свойства дисперсных систем.
48. Рассеяние света. Диаграммы Ми. Уравнения Рэлея (анализ).
49. Поглощение света. Закон Бугера-Ламберта-Бэра.
50. Оптические методы исследования коллоидных растворов.
51. Структурообразование. Типы структур.
52. Законы Ньютона, Пуазейля, Эйнштейна.
53. Связно-дисперсные системы. Два типа структур (по Ребиндеру)

### Примерные задачи к зачету с оценкой

**Задача 1.** Адсорбция растворенного в воде ПАВ на поверхности ртути - вода подчиняется уравнению Ленгмюра. При концентрации ПАВ 0,2 моль/л степень заполнения поверхности  $\Theta=0,5$ . Рассчитайте поверхностное натяжение ртути на границе с раствором при 298 К и концентрации ПАВ в растворе 0,1 моль/л. Предельное значение площади, занимаемой молекулой ПАВ на поверхности,  $s_0=0,20$  нм<sup>2</sup>, поверхностное натяжение ртути на границе с водой равно 0,373 Дж/м<sup>2</sup>.

**Задача 2.** Рассчитайте электрокинетический потенциал на границе керамический фильтр- водный раствор KCl, если при протекании раствора под давлением  $p=3,1 \cdot 10^4$  Па потенциал течения составил  $U=1,2 \cdot 10^{-2}$  В. Свойства дисперсионной среды при 298К: удельная электропроводность  $\kappa=0,141$  См·м<sup>-1</sup> (0,01 М раствор KCl), вязкость  $\eta=8,94 \cdot 10^{-4}$  Па·с, относительная диэлектрическая проницаемость  $\epsilon=78,5$ .

**Задача 3.** Рассчитайте осмотическое давление 30%-ного (масс.) гидрозоля SiO<sub>2</sub> при 293 К, если удельная поверхность частиц  $s_{уд}=2,7 \cdot 10^5$  м<sup>2</sup>/кг, плотность частиц гидрозоля  $\rho=2,2$  г/см<sup>3</sup>, плотность среды  $\rho_0=1,15$  г/см<sup>3</sup>

**Задача 4.** При адсорбции азота на активированном угле при 220 К получены следующие данные:

$p$ , Па .....	1870	6100	18000	33000	70000
$a \cdot 10^{-3}$ , м <sup>3</sup> /кг ....	5	14	23	32	41

Плотность газообразного азота  $\rho=1,25$  кг/м<sup>3</sup>. Постройте изотерму адсорбции в линейных координатах. Рассчитайте константы  $a_\infty$  и  $k$  уравнения Ленгмюра. Определите удельную поверхность активированного угля.

**Задача 5.** Определите поверхностную активность масляной кислоты на границе раствор – воздух при 283 К по следующим данным:

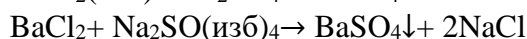
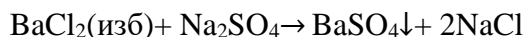
C,	кмоль/м <sup>3</sup>	0,00	0,02	0,05	0,10	0,50
.....						
$\sigma \cdot 10^{-3}$ ,	Дж/м <sup>2</sup>	74	69	64	60	44
....						

**Задача 6.** Вычислите удельную поверхность угольной пыли с диаметром частиц  $d=8 \cdot 10^{-5}$  м. Плотность угля  $\rho = 1,8 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

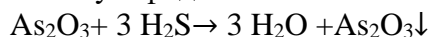
**Задача 7.** Рассчитайте размер частиц диоксида кремния, если известно, что время их оседания  $t$  на расстояние  $h=10^{-2}$  м составляет 60 мин.

Плотности дисперсной фазы  $\rho = 2,7 \cdot 10^3$  и дисперсной среды  $\rho_0 = 1 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость среды  $\eta = 1,5 \cdot 10^{-3}$  Па·с.

**Задача 8.** Написать формулу мицеллы:



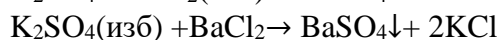
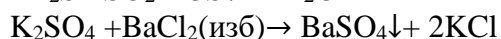
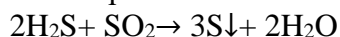
Золь сульфида мышьяка:



Золь золота:



Золь серы:





**Критерии оценки зачета с оценкой по дисциплине  
Б1.О.22 «Коллоидная химия»**

<b>Оценка</b>	<b>Описание</b>
<i>Отлично</i> ( 87-100 баллов)	<b>Оценка «отлично»</b> выставляется студенту, если он исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно излагает материал, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал рекомендуемой литературы, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач. Самостоятельно, логически стройно и последовательно излагает учебный материал, демонстрируя умение анализировать различные научные взгляды, аргументировано отстаивать собственную позицию. Обладает культурой речи. Демонстрирует полное понимание поставленного вопроса. Дает полный развернутый ответ на основной вопрос. Дает логически обоснованный и правильный ответ на дополнительный вопрос.
<i>Хорошо</i> (74-86 балла)	<b>Оценка «хорошо»</b> выставляется студенту, если он по существу излагает материал, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов, самостоятельно и последовательно излагает учебный материал, предпринимает попытки анализировать различные научные взгляды и обосновать собственную позицию, при этом допускает незначительные ошибки; умеет связывать теоретические положения с практической деятельностью; отличается развитой речью. Дает достаточно полный ответ, с нарушением последовательности изложения. Отвечает на дополнительный вопрос, но обосновать не может.
<i>Удовлетворительно</i> (60-73 балла)	<b>Оценка «удовлетворительно»</b> выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, предпринимает попытки анализировать различные научные взгляды, обосновать собственную позицию по требованию преподавателя, с трудом умеет установить связь теоретических положений с практикой. Дает неполный ответ на основной вопрос. Не дает ответа на дополнительный вопрос.
<i>Неудовлетворительно</i> (менее 60 баллов)	<b>Оценка «неудовлетворительно»</b> выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями отвечает на вопросы. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине. Нет ответа.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Нижекамский химико-технологический институт (филиал)  
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»  
*Факультет- технологический*  
*Кафедра - ОХБТ*  
направление 18.03.01 «Химическая технология»  
профиль/программа:  
«Химическая технология органических веществ»  
«Технология переработки полимеров»  
«Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов»

семестр 3-4

**Комплект лабораторных работ**  
по дисциплине Б1.О.22 «Коллоидная химия»

**Раздел 1. «Основные понятия, характеристики коллоидных систем»**  
**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1**  
**ПОЛУЧЕНИЕ ЗОЛЕЙ МЕТОДАМИ КОНДЕНСАЦИИ**

**Лабораторная работа №1**  
**Получение золей методами конденсации**

**Цель работы:** получение гидрозолей методом конденсации;  
наблюдение явления опалесценции.

**Приборы и реактивы:** исходные растворы для получения коллоидных систем, конические колбы, пипетки и набор пробирок, бюретки на 50 мл, воронки, мерные цилиндры, кюветы с плоскопараллельными стенками и проекционный фонарь для наблюдения конуса Тиндаля.

**Контрольные вопросы:** предмет коллоидной химии; основные понятия: дисперсная фаза, дисперсная среда, дисперсность; условия получения стабильных коллоидных систем; диспергирование и конденсация; физические и химические методы получения золей методом конденсации; строение мицелл; пептизация.

**Теоретическое введение**

Дисциплина «Коллоидная химия» изучает физикохимию дисперсных систем и поверхностных явлений. Коллоидное состояние -высокодисперсное (сильно раздробленное) состояние, в котором отдельные частицы представляют собой агрегаты, включающие множество молекул. Поскольку раздробленное вещество всегда находится в какой-либо среде.можно считать ,что коллоидные системы состоят минимум из двух фаз: одна фаза -частицы вещества называется дисперсной (она дискретна), другая – дисперсионной средой (она непрерывна). Частицы дисперсной фазы распределены в дисперсионной среде.

По интенсивности взаимодействия между дисперсной фазой и дисперсионной средой коллоидные системы подразделяются на *лиофильные* и *лиофобные*. Критерием межфазного взаимодействия является поверхностное натяжение на границе раздела фаз  $\sigma_{1,2}$ . Известна критическая величина поверхностного натяжения  $\sigma_{кр}$ , равная  $1 \cdot 10^{-5}$  Дж/м<sup>2</sup> (так называемый критерий Ребиндера). При  $\sigma_{1,2} \ll \sigma_{кр}$  система считается лиофильной. Получается она путем самопроизвольного диспергирования веществ в дисперсионной среде и поэтому является термодинамически устойчивой. Примером такой системы является раствор ПАВ в воде, например, раствор мыла. При  $\sigma_{1,2} > \sigma_{кр}$  система лиофобна. Такая система самопроизвольно получиться не может, для ее образования необходима затрата работы извне, что делает ее принципиально термодинамической неустойчивой.

В основе синтеза лиофобных систем лежат следующие принципы.

1. Для того чтобы  $\sigma_{1,2}$  было больше  $\sigma_{кр}$ , необходимо подобрать два компонента, не растворимых друг в друге, т.е дисперсная фаза не должна растворяться в дисперсионной среде.

2. Вещество, являющееся дисперсной фазой, должно обладать определенной степенью дисперсности. Дисперсность – величина, обратная диаметру частиц:  $D = \frac{1}{d}$

Системы с размером частиц  $10^5 - 10^7$  см называется золями (если дисперсионной средой является вода – это гидрозоли, если любая другая среда – лиозоли). Системы, у которых размер частиц находится в пределах от  $10^2$  до  $10^5$  см, относятся к суспензиям и эмульсиям.

3. Полученные частицы дисперсной фазы должны равномерно распределяться в дисперсной среде, находится в броуновском движении и при этом не слипаться друг с другом, то есть коллоидная система должна быть стабильной. Для этой цели применяют специальные добавки - стабилизаторы. Ими могут быть поверхностно-активные вещества, высокомолекулярные соединения или соединения, принимающие участие в реакции получения коллоидных систем и взятые в избытке.

Поскольку коллоидные частицы занимают промежуточное положение между молекулами ( $d < 10^{-7}$  см) и грубодисперсными телами ( $d > 10^{-1}$  см), они могут получены либо путём соединения отдельных молекул или ионов агрегаты, либо в результате измельчения крупных частиц. Отсюда вытекают два метода получения коллоидных систем: диспергирование и конденсация.

*Диспергирование* – это раздробление вещества до нужной степени дисперсности. Существуют различные способы диспергирования: механические (дробление, истирание, использование различных мельниц, в том числе и коллоидных), вибрационные, электрические. Достоинством метода является простота, недостатком – большие энергозатраты и невозможность получения высокой степени дисперсности ( $d < 10^{-5}$  см).

*Конденсация* – метод, обратный диспергированию. В основе всех конденсационных способов лежат процессы агрегирования – объединение молекул или ионов гомогенной среды, приводящие к возникновению новой дисперсной фазы. Для образования гетерогенной системы из гомогенной необходимо создать перенасыщение. В зависимости от того, каким путём это состояние достигается, различают физические и химические способы конденсации.

*Физические способы* – заключается в замене растворителя (растворитель, хорошо растворяющие данное вещество, заменяется другим, в котором это вещество нерастворимо) и понижении температуры (конденсация паров).

*Химические способы* предполагают проведение таких химических реакций, в результате которых получаются труднорастворимые в данном растворителе (дисперсионной среде) вещества.

Для получения различных гидрозолей применяет реакции:

восстановления:  $2\text{HAuCl}_4 + 4\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{Au} \downarrow + 8\text{HCl} + 4\text{O}_2$ ;

(гидрозоль золота)

окисления:  $2\text{H}_2\text{S} + \text{SO}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + 3\text{S} \downarrow$ ;

(гидрозоль серы)

двойного обмена:  $\text{BaCl}_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{BaSO}_4 \downarrow + 2\text{NaCl}$ .

(гидрозоль сульфата бария)

Коллоидные системы гидрозоли состоит из мицелл и молекул дисперсионной среды.

*Мицелла* – это структурная единица коллоидной системы, представляющая собой совокупность молекул дисперсной фазы (агрегат) вместе со своим двойным электрическим слоем. Рассмотрим строение мицеллы на примере гидрозоля йодистого серебра AgI, которые получают по реакции:  $\text{AgNO}_3 + \text{KI} \rightarrow \text{AgI} \downarrow + \text{KNO}_3$ .

Для придания стабильности коллоидной системе один из исходных компонентов необходимо взять в избытке. Вещество, взятое в избытке, является *стабилизатором* коллоидной системы. Рассмотрим два случая получения гидрозоля AgI: а) когда в избытке берётся  $\text{AgNO}_3$ ; б) когда в избытке берётся KI. Мицеллы в этих гидрозолях йодида серебра будут отличаться друг от друга. При написании формулы мицеллы необходимо учитывать следующие правила:

1. Основой мицеллы является нерастворимый агрегат, включающий неопределённое количество молекул  $m$  нерастворимого соединения:

$m(\text{AgI}) \quad m \cong 80000$  молекул.

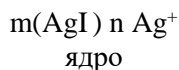
агрегат

2. На поверхности агрегата адсорбируются ионы электролита - стабилизатора, способные достраивать его кристаллическую решётку, т.е те ионы, которые входят в состав агрегата в растворе в избытке (правило Фаянса-Панета). Эти ионы называются *потенциалопределяющими*. Они вместе с агрегатом составляет ядро мицеллы. Состав ядра мицеллы для случаев (а) и (б) будет различен.

Если в избытке берётся  $\text{AgNO}_3$ , то он будет стабилизатором.

Диссоциирует  $\text{AgNO}_3$  по уравнению:  $\text{AgNO}_3 \leftrightarrow \text{Ag}^+ + \text{NO}_3^-$

т.е в растворе в избытке имеются ионы  $\text{Ag}^+$  (потенциалоопределяющие) и отрицательно заряженные ионы  $\text{NO}_3^-$  (противоионы). Ионы серебра способны достраивать кристаллическую решётку агрегата (входят в его состав), поэтому они адсорбируются на поверхности агрегата, образуя ядро мицеллы:



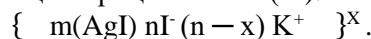
где n - количество адсорбирующихся противоионов.

Если в избытке берётся KI, то стабилизатором будет этот электролит, диссоциирующий по уравнению:  $\text{KI} \leftrightarrow \text{K}^+ + \text{I}^-$ .

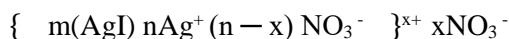
Ионы I<sup>-</sup> являются потенциалопределяющими, они входят в состав агрегата и адсорбируются на его поверхности образуя отрицательно заряженное ядро:  $m(\text{AgI}) \text{ nI}^-$   
ядро

3. Ионы  $\text{NO}_3^-$  в случае (а) и ионы  $\text{K}^+$  в случае (б) называются *противоионами*. Часть этих противоионов (n — x) прочно притягиваются к ядру мицеллы, вследствие чего образуется заряженная коллоидная частица. В случае а) частица имеет положительный заряд (x<sup>+</sup>):  $\{ m(\text{AgI}) \text{ nAg}^+ (n - x) \text{NO}_3^- \}^{x+}$ .

В случае б) поверхности заряд частицы отрицательный (x<sup>-</sup>):



4. Остальные x противоионы связаны с частицей непрочны, они распределены диффузно в жидкой среде. В итоге образуется нейтральная мицелла. Таким образом формула мицеллы в случае (а) имеет вид :



в случае (б):  $\{ m(\text{AgI}) \text{ nI}^- (n - x) \text{K}^+ \}^{x-} \text{ xK}^+$ .

### Выполнение работы

Гидрозоли в данной работе получается по следующим методикам.

**1. Получение золя канифоли путем замены растворителя.** 3%-ный спиртовый раствор канифоли прибавляют по каплям (5÷6 капель) в пробирку, заполненную примерно на 1/3 дистиллированной водой, и встряхивают. Образуется прозрачный опалесцирующий золь канифоли. Стабилизаторами этого золя являются продукты окисления канифоли и содержащиеся в ней примеси.

**2. Получение золя диоксида марганца путём восстановления.** При добавлении гидросульфата натрия к раствору перманганата калия (марганцовокислого калия) соль марганца восстанавливается до двуокиси марганца. Реакция протекает по уравнению:

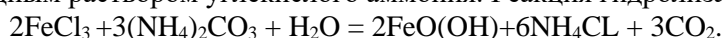


При избытке перманганата калия образуется золь двуокиси марганца с отрицательно заряженными частицами. Потенциалоопределяющим ионом является ион  $\text{MnO}_4^-$ , а против ионом —  $\text{K}^+$ .

Синтез выполняется следующим образом: 1мл 1, 5% раствора перманганата калия помещают в колбу и разбавляют дистиллированной водой до 50 мл. В разбавленный раствор вводят пипеткой 2-3 капли 1 % раствора гипосульфита натрия. Образуется вишнево -красный золь двуокиси марганца.

**3. Получение золя гидроксида железа** проводится двумя способами, в основе которых лежит реакция гидролиза. По первому способу 85 мл дистиллированной воды нагревают в конической колбе до кипения. В кипящую воду небольшими порциями приливают 15 мл 2% раствора хлористого железа. Через несколько минут в результате реакции вишнево-коричневый золь гидроксида железа:  $\text{FeCl}_3 + 3\text{H}_2\text{O} = \text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{HCl}$ .

По второму способу гидролиз растворенного  $\text{FeCl}_3$  осуществляется при взаимодействии его с водным раствором углекислого аммония. Реакция гидролиза выражается уравнением:

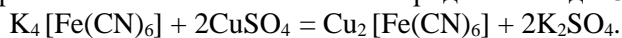


Для получения золя к 5мл 2% раствора  $\text{FeCl}_3$  при интенсивном помешивании прибавляют по каплям 1М раствор  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  до тех пор, пока образовавшийся осадок не перейдёт во взвешенное состояние.

**4. Получение гидрозолей берлинской лазури и железосинеродистой меди.**

Для получения гидрозоля берлинской лазури  $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$  к 5 мл 0,1 % раствора железосинеродистого калия прибавляют по каплям 2 % раствор хлористого железа:  $3\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6] + 4\text{FeCl}_3 = \text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3 + 12\text{KCl}$ .

Для получения гидрозоля железосинеродистой меди к 10 мл 0,1 % раствора железосинеродистого калия прибавляют 2- 3 капли 2% раствора сернокислой или хлористой меди. Получается коричнево-красный стойкий золь железосинеродистой меди  $\text{Cu}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ :



**5. Получение золя берлинской лазури пептизацией щавелевой кислотой.** К 10 мл 0,016 М раствора  $\text{FeCl}_3$  приливают по каплям 5мл насыщенного раствора  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ . Образующийся осадок берлинской лазури отфильтровывают, промывают водой, удаляют фильтрат и заливают осадок на фильтре 0,05М раствором щавелевой кислоты . Осадок быстро пептизируется щавелевой кислотой, и через фильтр проходит синий золь берлинской лазури. Потенциалоопределяющим ионом в данном случае является анион щавелевой кислоты.

После синтеза гидрозоли наливают в цилиндр и наблюдают опалесценцию (конус Тандала) путем пропускания через золь светового луча проекционного фонаря. Для сравнения этот же опыт проводят с дистиллированной водой. В отчете дают краткое описание способа получения гидрозоля, записывают химическую реакцию его образования и формулу мицеллы.

#### **Вопросы для самоконтроля**

1. Что называется дисперсной системой? По каким признакам классифицируются дисперсные (коллоидные системы)?
2. Как зависит удельная поверхность от размера частиц?
3. Какими методами получают дисперсные системы?
4. В чём сущность диспергационных методов получения дисперсных систем? Приведите примеры.
5. Что такое золь? Как построена мицелла гидрофобного золя? Приведите пример.
6. Является ли мицелла электронейтральным образованием?
7. Что называют пептизацией? Какие способы пептизации применяются для получения зольей? Приведите конкретный пример.

## **Раздел 2. «Поверхностные явления»**

### **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2**

### **ИЗУЧЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ И АДСОРБЦИИ НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА ЖИДКОСТЬ – ГАЗ**

**Цель работы:** определение поверхностного натяжения и изучение адсорбции на границе «раствор – воздух».

**Приборы и реактивы:** прибор Ребиндера; водный раствор ПАВ; колбы емкостью 50 см<sup>3</sup>; мерные колбы и пипетки.

#### **Теоретическое введение**

Молекулы в поверхностном слое по своему энергетическому состоянию отличаются от молекул в объеме фазы. Равнодействующая молекулярных сил в объеме фазы равна нулю, так как каждая молекула испытывает одинаковое притяжение со стороны окружающих ее молекул. Молекула на поверхности граничит не только с подобными себе молекулами, но и с молекулами другой фазы. Поскольку межмолекулярное взаимодействие между разнородными молекулами обычно отличается от притяжения однородных молекул, равнодействующая молекулярных сил притяжения оказывается нескомпенсированной, т.е. она не равна нулю. Если поверхность жидкости граничит с воздухом, то эта равнодействующая направлена вглубь жидкой фазы. Следовательно, для увеличения поверхности, т.е. переноса вещества из объема фазы в поверхностный слой, нужно совершить работу против сил межмолекулярного сцепления.

Работа  $A$ , затраченная на образование единицы поверхности при изотермических и обратимых условиях, называется поверхностным натяжением  $\sigma$ . Исходя из определения  $\sigma$ , очевидна размерность этой величины – Дж/м<sup>2</sup> или Н/м. Соответственно в качестве размерности величины  $\sigma$  в равной степени используются Дж/м<sup>2</sup>; эрг/см<sup>2</sup>; Н/м; дин/см. Под влиянием

поверхностного натяжения жидкость всегда стремится принять форму шара, так как это наименьшая поверхность, ограничивающая объем.

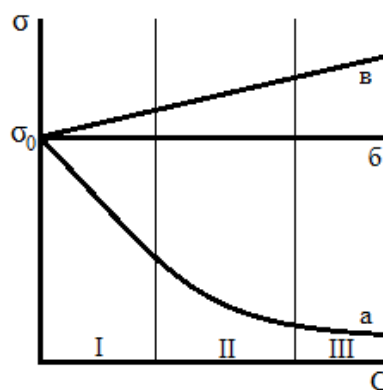
На величину поверхностного натяжения влияет ряд факторов: температура, природа жидкости, присутствие в жидкости посторонних веществ.

С ростом температуры поверхностное натяжение жидкости  $\sigma$  снижается по прямолинейному закону. При критической температуре исчезает различие между граничащими фазами и  $\sigma = 0$ .

Чем сильнее межмолекулярное взаимодействие в жидкости, тем больше ее поверхностное натяжение. Поверхностное натяжение у полярных жидкостей выше, чем у неполярных: например, у воды (полярная жидкость)  $\sigma_{H_2O} = 72,75$  мДж/м<sup>2</sup>, у бензола (неполярный растворитель)  $\sigma_{C_6H_6} = 21,6$  мДж/м<sup>2</sup>.

При растворении в индивидуальной жидкости каких-либо веществ поверхностные свойства системы изменяются.

Вещества, характеризующиеся слабым взаимодействием с растворителями, выталкиваются из объема раствора на поверхность и концентрируются у границы раздела фаз, при этом поверхностное натяжение жидкости уменьшается (рис. 1.1, кривая а). Процесс самопроизвольного накопления вещества на границе раздела фаз называется адсорбцией  $\Gamma$ .



**Рис. 1.1** Зависимость поверхностного натяжения от концентрации раствора

а – изотерма ПАВ;

б – изотерма для вещества, не влияющего на поверхностное натяжение;

в – изотерма для поверхностно-инактивного вещества.

Адсорбция выражается числом молей вещества  $n$ , адсорбированного единицей поверхности  $S$ :

$$\Gamma = n / S, \quad (1.1)$$

Отсюда размерность адсорбции [моль/см<sup>2</sup>]. Вещества, способные накапливаться (адсорбироваться) на поверхности, называются поверхностно-активными (ПАВ). Поверхностно-активными веществами относительно воды являются многие органические соединения: жирные кислоты, например  $C_3H_7COOH$ , соли жирных кислот, например олеат натрия  $C_{17}H_{33}COONa$  спирты, например бутиловый  $C_4H_9OH$ . Большинство из них обладает характерной особенностью строения молекул – дифильностью. Молекула таких веществ состоит из двух частей: полярной – гидрофильной ( $-COOH$ ,  $-COONa$ ,  $-OH$ ) и неполярной – гидрофобной ( $-C_{17}H_{33}$ ,  $-C_3H_7$ ,  $-C_4H_9$ ). Молекулы ПАВ принято изображать символом  $\text{---}\bigcirc$ , где кружок обозначает полярную группу, а черточка – неполярный радикал.

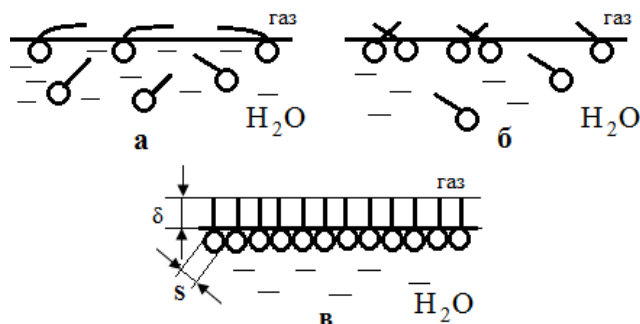
Длина углеводородного радикала молекулы сильно сказывается на поверхностной активности вещества  $G$ , которая равна

$$G = - \left( \frac{d\sigma}{dc} \right)_{c \rightarrow 0}, \quad (1.2)$$

Вещества, характеризующиеся сильным взаимодействием с молекулами растворителя, остаются в объеме. Такие вещества называются инактивными, поверхностный слой ими обеднен. Поверхностное натяжение системы при этом незначительно возрастает (рис. 1.1, кривая в). Поверхностно-инактивными веществами относительно воды являются, например, неорганические

кислоты ( $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), соли ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{KCl}$ ). Помимо поверхностно-активных веществ и инактивных веществ, понижающих и повышающих поверхностное натяжение растворителя, существуют вещества, при растворении которых поверхностное натяжение не изменяется (рис 1.1, кривая б). Таким веществом по отношению к воде является сахар. Изотерма поверхностного натяжения жидкости в присутствии ПАВ имеет три характерных участка, соответствующих малым (прямолинейный участок I), средним (пологий участок II) и большим (горизонтальный участок III) концентрациями ПАВ.

При малых концентрациях ПАВ граница раздела «жидкость – газ» свободна от молекул поверхностно-активного вещества, поэтому почти все добавленные молекулы могут располагаться в поверхностном слое, и поверхностное натяжение будет снижаться пропорционально добавленному количеству ПАВ (рис. 1.2а)



**Рис. 1.2** Ориентация молекул ПАВ в адсорбционном слое:

а – при малых концентрациях ПАВ;

б – при средних;

в – при больших.

При средних концентрациях значительная часть поверхности занята молекулами ПАВ, поэтому поверхностное натяжение будет зависеть от концентрации в меньшей степени (рис. 1.2 б).

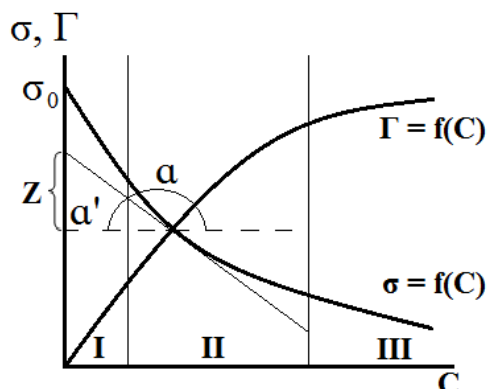
При больших концентрациях ПАВ на изотерме наблюдается почти горизонтальный участок, т.е. поверхностное натяжение системы мало изменяется при добавке ПАВ в раствор. При этих условиях на поверхности образуется сплошной мономолекулярный слой поверхностно-активного вещества, и дальнейшая адсорбция невозможна (рис. 1.2 в).

Адсорбция, соответствующая состоянию, при котором образуется насыщенный мономолекулярный слой, называется предельной адсорбцией и обозначается  $\Gamma_{\text{макс}}$  или  $\Gamma_{\infty}$ .

Связь между адсорбцией, (количеством избыточного вещества на поверхности) и способностью снижать поверхностное натяжение разбавленных растворов, описывается уравнением Гиббса:

$$\Gamma = -\frac{C}{RT} \cdot \frac{d\sigma}{dC}, \quad (1.3)$$

Где  $C$  – концентрация;  $R$  – универсальная газовая постоянная;  $T$  – абсолютная температура;  $d\sigma/dC$  – производная, определяющая меру снижения поверхностного натяжения в зависимости от концентрации вещества.



**Рис. 1.3** Построение изотермы адсорбции по изотерме поверхностного натяжения

По уравнению Гиббса рассчитывается изотерма адсорбции, т.е. зависимость адсорбции от концентрации при постоянной температуре (рис. 1.3). Для этого при разных концентрациях ПАВ в растворе изменяют поверхностное натяжение и строят зависимость  $\sigma \rightarrow f(C)$ . В какой-либо точке пологого участка кривой проводят касательную. Тангенс угла наклона этой касательной к оси абсцисс  $tga$  равен первой производной в этой точке, т.е.  $tga = d\sigma/dC$ .

Для расчета адсорбции необходимо подставить в уравнение Гиббса значения производной, концентрации в этой точке, а также температуры опыта. Определив для ряда точек значения адсорбций, строят изотерму адсорбции, т.е. зависимость адсорбции от концентрации:

$$\Gamma = f(C).$$

Кроме уравнения Гиббса, изотерму адсорбции так же хорошо описывает уравнение Ленгмюра:

$$\Gamma = \Gamma_{\infty} \cdot \frac{bC}{1 + bC}, \quad (1.4)$$

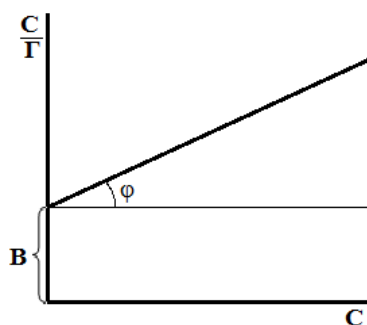
Где  $\Gamma_{\infty}$  - величина адсорбции при полном насыщении слоя;

$b$  – константа адсорбционного равновесия.

Для нахождения констант в уравнении Ленгмюра ( $\Gamma_{\infty}$  и  $b$ ) графическим путем его преобразуют к виду:

$$\frac{C}{\Gamma} = \frac{C}{\Gamma_{\infty}} + \frac{1}{b \cdot \Gamma_{\infty}}. \quad (1.5)$$

Откладывая на оси ординат величину  $C/\Gamma$ , а по оси абсцисс –  $C$  (рис 1.4), получают прямую. Котангенс угла  $\varphi$ , образуемый этой прямой с осью абсцисс, равен  $\Gamma_{\infty}$ . отрезок, отсекаемый от оси ординат  $B = \frac{1}{\Gamma_{\infty} \cdot b}$ .



**Рис. 1.4** Решение уравнения Ленгмюра путем его преобразования в уравнение прямой

По найденной величине  $\Gamma_{\infty}$  можно вычислить параметры адсорбционного слоя:  $S_0$  и  $\delta$ .  $S_0$  – площадь, занимаемая одной адсорбированной молекулой, численно равная площади полярной гидрофильной части молекулы (например, площади группы –ОН при адсорбции бутилового спирта  $C_4H_9OH$ ). Величина  $\delta$  примерно равна длине углеводородного радикала молекулы ПАВ, т.е. в случае адсорбции бутилового спирта – длине цепочки  $-C_4H_9$ . Поскольку адсорбцию  $\Gamma$ , а значит, и предельную адсорбцию выражают числом молей вещества  $n$ , адсорбированного в монослой на площади  $S$ , т.е.  $\Gamma_{\infty} = n/S$ , то если  $n$  равно 1 моль,

$$\Gamma_{\infty} = \frac{1}{S_0 \cdot N}, \quad (1.6)$$

Где  $S_0$  – площадь, занимаемая одной молекулой ( $S = S_0 N_a$ );  $N_a$  – число Авогадро, равное числу молекул в 1 моле вещества. Следовательно,

$$S_0 = \frac{1}{\Gamma_{\infty} \cdot N_a}. \quad (1.7)$$

Толщину адсорбционного слоя  $\delta$  можно определить, вычислив объем этого слоя. Объем равен произведению толщины слоя  $\delta$  на его площадь  $S$  ( $V = \delta S$ ). В свою очередь, объем можно вычислить, разделив молекулярную массу вещества  $M$  на плотность  $\rho$  ( $V = M/\rho$ ). Из равенства  $\delta \cdot S = M/\rho$  получаем  $\delta = M/S \cdot \rho$ . Поскольку  $S = S_0 N_a$ , а  $S_0 = 1/\Gamma_{\infty} \cdot N_a$ , то  $\delta = M \cdot \Gamma_{\infty} / \rho$ . Сопоставляя вычисленные значения толщины слоя с длиной молекулы, известной из ее строения, можно сделать



заклучение об ориентации молекул в адсорбционном слое. Если толщина слоя совпадает с длиной молекулы, то наблюдается вертикальная ориентация молекул ПАВ в адсорбционном слое.

Рассмотренный метод имеет ряд недостатков:

1. Величина  $\frac{\partial \sigma}{\partial C}$  увеличивается с ростом концентрации только при малых значениях  $C$ , а при больших концентрациях, по мере насыщения адсорбционного слоя молекулами ПАВ, величина первой производной начинает убывать с ростом концентрации. Вследствие этого изотерму  $\Gamma = f(C)$  можно построить только при незначительных концентрациях.
2. Поскольку начальный участок зависимости  $\sigma = f(C)$  линейный, то и адсорбция, рассчитанная для малых концентраций ПАВ, тоже, как правило, изменяется с ростом концентрации по линейному закону. Поэтому графическим решением уравнения Ленгмюра, которое представляет собой параболическую зависимость, для нахождения  $\Gamma_\infty$  и  $b$  пользоваться нельзя, т.к. функциональная зависимость  $C/\Gamma$  от концентрации не будет прямолинейна.
3. При построении касательных к кривой  $\sigma = f(C)$ , т.е. при проведении графического дифференцирования, возможно привнесение ошибок в расчет адсорбции. Поэтому расчет  $\Gamma_\infty$  проводят другими методами, используя уравнения Гиббса или Шишковского.

### Расчет $\Gamma_\infty$ по уравнению Гиббса

В уравнении Гиббса величина предельной адсорбции не содержится. Однако, если допустить, что существует некоторое предельное значение  $\Gamma_\infty$  достигнув которого величина адсорбции остается постоянной, можно произвести интегрирование уравнения Гиббса в той области концентраций, где адсорбция уже перестала изменяться:

$$RT\Gamma_\infty = -\frac{d\sigma}{d\ln C}, \quad (1.8)$$

т.е. величина  $RT\Gamma_\infty$  постоянна. Поэтому вышеприведенное уравнение можно проинтегрировать следующим образом:

$$\pi = -\Delta\sigma = RT\Gamma_\infty \ln C + \text{const} \quad (1.9)$$

где const – постоянная интегрирования.

Строя зависимость  $\Delta\sigma = \sigma_0 - \sigma = f(\ln C)$ , получаем кривую, которая при достаточно больших концентрациях (в пределе) переходит в прямую (рис. 1.5). Тангенс угла наклона этой прямой, судя по вышеприведенному уравнению, равен угловому коэффициенту при  $\ln C$ : ( $\text{tg} \alpha = RT\Gamma_\infty$ ), откуда  $RT\Gamma_\infty = \frac{\text{tg} \alpha}{RT}$ .

Зная величину  $\Gamma_\infty$  из уравнения Шишковского:

$$\sigma_0 - \sigma = A \ln(1 + bc),$$

где  $A = RT\Gamma_\infty$

$b$  – константа адсорбционного равновесия,

находят константу  $b$ . По уравнению Ленгмюра вычисляют адсорбцию, а затем строят полную изотерму адсорбции при всех значениях концентраций.

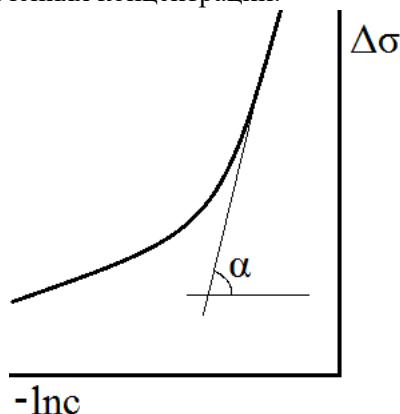


Рис. 1.5 Изотерма двумерного давления, зависимость  $\Delta\sigma$  от  $\ln c$

### Расчет предельной адсорбции по уравнению Шишковского

Для определения  $A$  и  $b$  в уравнении Шишковского решают систему уравнений:

$$\sigma_0 - \sigma_1 = A \ln(1 + bc_1),$$

$$\sigma_0 - \sigma_2 = A \ln(1 + bc_2), \quad (1.10)$$

где  $\sigma_0$  – поверхностное натяжение воды;

$\sigma_1$  и  $\sigma_2$  – значения поверхностного натяжения, измеренные при концентрациях вещества  $C_1$  и  $C_2$ .

Величины  $\sigma_i$  берутся из экспериментальных данных по измерению зависимости поверхностного натяжения от концентрации  $C_i$  ПАВ в растворе.

Расчет параметров  $A$  и  $b$  в уравнении Шишковского можно выполнить с помощью нелинейного регрессионного анализа, воспользовавшись программой STATEGRAPHICS.

Кроме того, вышеприведенная система уравнений решается и вручную, для чего уравнение Шишковского нужно предварительно продифференцировать. После дифференцирования уравнение Шишковского имеет вид:

$$-\frac{d\sigma}{dc} = \frac{Ab}{1+bc}. \quad (1.11)$$

Полагая, что  $d\sigma \sim \Delta\sigma$ ,  $dc \sim \Delta c$ , можно записать систему уравнений:

$$-\frac{d\sigma_1}{dc} = \frac{Ab}{1+bc_1},$$

$$-\frac{d\sigma_2}{dc} = \frac{Ab}{1+bc_2}. \quad (1.12)$$

Поделив одно уравнение на другое и воспользовавшись опытными данными зависимости поверхностного натяжения от концентрации, находят  $b$ :

$$b = \frac{k-1}{c_2 - kc_1}, \quad (1.13)$$

где  $k = -\frac{\Delta\sigma_1}{\Delta\sigma_2} - \frac{\Delta\sigma_2}{\Delta\sigma_1}$ . Затем, подставив  $b$  в уравнение Шишковского, вычисляют константу  $A$ , которая равна  $RT\Gamma_\infty$ .

Отсюда  $\Gamma_\infty = A/RT$ . По уравнению Ленгмюра рассчитывают адсорбцию и строят полную изотерму адсорбции  $\Gamma = f(c)$ .

### **Методы измерения поверхностного натяжения**

Методы определения поверхностного натяжения подразделяются на статические (при неподвижных или медленно образующихся поверхностях) и динамические (при движущихся и непрерывно изменяющихся поверхностях). Динамические методы не могут быть использованы для определения поверхностного натяжения растворов ПАВ, так как формирование адсорбционных слоев – длительный процесс, и поверхностное натяжение, измеренное за непродолжительное время, не будет соответствовать равновесному. Статические и полустатические методы позволяют измерить равновесные значения поверхностного натяжения жидкости.

Известны следующие методы определения поверхностного натяжения: метод капиллярного поднятия жидкости, метод отрыва кольца, метод наибольшего давления пузырька газа в жидкости, сталагмометрический метод (отрыв капли) и др. Наиболее распространенным является полустатический метод давления газового пузырька. Суть его заключается в том, что измеряется давление  $P$ , необходимое для образования пузырька газа. Это давление можно измерить на приборе, сконструированном академиком П.А. Ребиндером (рис 1.6).

Между максимальным избыточным давлением  $P$ , измеряемым до проскакивания пузырька через капилляр, опущенный в жидкость, и поверхностным натяжением существует зависимость:

$$\Delta P = \frac{2\sigma}{r}, \quad (1.14)$$

где  $r$  – радиус капилляра.

Следует заметить, что в момент проскакивания пузырька обычно наблюдается резкое уменьшение давления, что позволяет четко фиксировать максимальное значение давления, отвечающего условию, при котором выполняется вышеприведенное уравнение. Давление  $P$  можно выразить через разность уровней столба жидкости  $\Delta h$  в манометре, тогда

$$\sigma = \frac{\Delta h \cdot r}{2} = K \cdot \Delta h, \quad (1.15)$$

где  $K$  – константа прибора, в которую не входят величины, зависящие от природы измеряемой жидкости ( $K = r/2$ ).

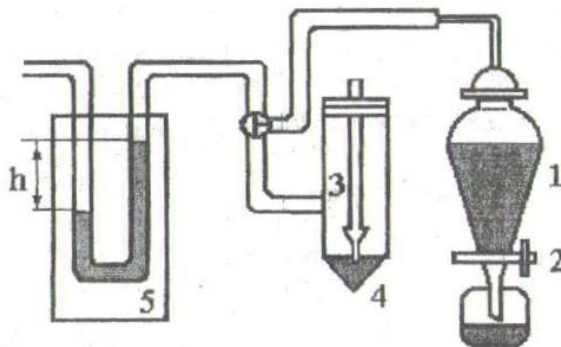


Рис. 1.6 Схема установки для измерения поверхностного натяжения жидкости (прибор Ребиндера)  
1 – делительная воронка; 2 – кран; 3 – трубка с капилляром; 4 – сосуд с исследуемой жидкостью; 5 – манометр.

Для определения постоянной  $K$  измеряют максимальное давление  $\Delta h_0$  для стандартной, например, воды, у которой величина поверхностного натяжения  $\sigma_0$  известна. Зная  $\sigma_0$  и измерив  $\Delta h_0$ , вычисляют  $K = \sigma_0 / \Delta h_0$ . Подставив  $K$  в уравнение  $\sigma = K \cdot \Delta h$ , получают:

$$\sigma = \sigma_0 \frac{\Delta h}{\Delta h_0}. \quad (1.16)$$

### **Выполнение работы**

Для выполнения работы необходимо иметь прибор Ребиндера, водный раствор ПАВ, колбы емкостью 30 см<sup>3</sup>, мерные колбы и пипетки.

1. Получив от преподавателя раствор ПАВ известной концентрации, с помощью мерных колб и пипеток готовят 5 растворов путем последовательного разбавления вдвое.

2. В сосуд (рис.1.6) наливают дистиллированную воду примерно наполовину емкости измерительной ячейки и устанавливают капилляр так 3 так, чтобы он касался ее поверхности. Плотнo закрывают все шлифы и краны.

3. Для того чтобы создать разрежение в сосуде, через кран 2 выливают воду из делительной воронки 1, при этом разность между уровнями жидкости в манометре увеличивается. Измеряют максимальную разность уровней жидкости в манометре, при которой происходит проскакивание пузырьков воздуха через капилляр. Измерение производят 3-4 раза и вычисляют среднее значение. Скорость проскакивания пузырьков регулируют так, чтобы число пузырьков не превышало 2-3 в минуту.

**ВНИМАНИЕ!** Если при открывании крана вода из делительной воронки не течет, значит, в резиновые шланги попала жидкость. Необходимо снять шланги и вылить из них воду. Если при течении воды из воронки не наблюдается пробукливания пузырьков через капилляр, необходимо проверить герметичность установки.

4. Производят измерение с исходным и приготовленными растворами и находят  $\Delta h$ . Начинать измерение следует с раствора самой низкой концентрации.

5. На основании полученных данных вычисляют поверхностное натяжение  $\sigma$  для всех растворов ПАВ по формуле (1.16). В формулу подставляют  $\sigma_0$  – поверхностное натяжение воды, рассчитанное при температуре опыта  $t$  по уравнению (1.17):

$$\sigma_0 = 73,5 - 0,15(t - 15), \quad (1.17)$$

где 73,5 мДж/м<sup>2</sup> – поверхностное натяжение воды при температуре 15 °С.

По найденным значениям  $\sigma$  строят изотерму поверхностного натяжения  $\sigma = f(C)$ . Экспериментальные и рассчитанные данные заносят в таблицу 1.1.

Рассчитывают адсорбцию. Поскольку физический смысл производной  $d\sigma/dC$  есть тангенс угла наклона касательной к кривой  $\sigma = f(C)$ , то в средней области кривой (области 2 на рис. 1.3) берут 5-6 точек и проводят к ним касательные и прямые, параллельные оси абсцисс. Соответствующие этим точкам концентрации заносят в табл. 1.2.

Таблица 1.1

$C$ , моль/л	$\Delta h$ , см	$\sigma$ , мДж/м <sup>2</sup>

Рассмотрим (см. рис. 1.3) порядок проведения расчета для одной из точек, например, для точки А. Из рис. 1.3 видно, что производная в этой точке  $\frac{d\sigma}{dC} = tg\alpha = -tg'\alpha'; tg\alpha' = \frac{z}{C}$ .

Для нахождения тангенса угла наклона нельзя пользоваться транспортиром, его следует рассчитывать как отношение катетов треугольника, т.е. отрезков осей координат, выраженных в соответствии с масштабом графика. Подставив в уравнение Гиббса найденное значение производной  $\frac{d\sigma}{dC} = -\frac{z}{C}$ , получают  $\Gamma = \frac{z}{RT}$ .

7. По преобразованному уравнению Ленгмюра находят предельную адсорбцию  $\Gamma_{\infty}$ . Для этого на оси абсцисс откладывают значения концентрации, а на оси ординат – соответствующее им вычисленные значения  $C/\Gamma$ . в результате получают прямую (рис. 1.4), из котангенса угла наклона которой можно вычислить  $\Gamma_{\infty}$ .

8. По найденной величине  $\Gamma_{\infty}$  определяют площадь молекулы  $S_0$  и толщину адсорбционного слоя  $\delta$ .

9. Измеренные и вычисленные данные записывают в таблицу 1.2.

#### ПРИМЕЧАНИЕ:

Значение газовой постоянной  $R = 8,3142 \text{ Дж} \cdot \text{К}^{-1} \cdot \text{моль}^{-1}$ .

$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ 1/моль}$ .

Таблица 1.2

$C$ , моль/л	$\Delta\sigma = z$ , мДж/м <sup>2</sup>	$\Gamma$ , моль/см <sup>2</sup>	$C/\Gamma$

Значения плотности н-бутилового спирта и олеата натрия приведены в табл. 1.3. Молекулярные массы бутилового спирта и олеата натрия рассчитываются как сумма их атомных масс исходя из химических формул:  $C_4H_9OH$ ,  $C_{17}H_{33}COONa$ .

Таблица 1.3

Вещество	Плотность (г/см <sup>3</sup> ) при температуре		
	15 °C	20 °C	30 °C
Н-бутиловый спирт $C_4H_9OH$	0,8233	0,8086	0,8020
Олеат натрия $C_{17}H_{33}COONa$	-	0,8906	-

#### Вопросы для самоконтроля

1. Какие поверхностные явления изучает коллоидная химия?
2. Что такое поверхностное натяжение и в каких единицах оно измеряется?
3. Проанализируйте причины, приводящие к изменению поверхностного натяжения на границе вода-воздух.

4. Чем обусловлена сферическая форма капель жидкости в условиях невесомости?
5. Что такое полная поверхностная энергия? Какие экспериментальные данные необходимы для ее определения?
6. Как зависят поверхностное натяжение и полная поверхностная энергия от температуры?
7. Приведите методы определения поверхностного натяжения. В чем разница между статическими и динамическими методами?
8. Что такое поверхностная активность? Как можно ее определить?
9. Что такое ПАВ? Какова особенность строения молекулы ПАВ? Приведите примеры неионогенных, катионных и анионных ПАВ.
10. В чем заключается правило Траубе? Изобразите изотерму адсорбции и поверхностного натяжения для ряда спиртов:  $C_3H_5OH$ ,  $C_3H_7OH$ ,  $C_4H_9OH$ ,  $C_5H_{11}OH$ .
11. Что называется адсорбцией и как количественно ее характеризуют?
12. Какие уравнения описывают зависимость поверхностного натяжения от концентрации?
13. Приведите уравнение, описывающее зависимость адсорбции от концентрации (изотерма адсорбции).

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3 ИЗУЧЕНИЕ АДСОРБЦИИ НА ГРАНИЦЕ «ТВЕРДОЕ ТЕЛО – РАСТВОР»

**Цель работы:** изучение адсорбции органической кислоты на активированном угле; определение констант в уравнении Фрейндлиха.

**Приборы и реактивы:** 0,4 М растворы уксусной или муравьиной кислоты, активированный уголь (адсорбент), титрант – 0,1 М раствор КОН, спиртовой раствор фенолфталеина, 12 конических колб, колба емкостью 500 мл, мерный цилиндр, пипетки на 5, 10, 15 мл, весы, вибротерм.

#### *Теоретическое введение*

*Адсорбция* из растворов на твердой поверхности играет важную роль в процессах образования, разрушения и устойчивости коллоидных систем. С адсорбцией связаны процессы очистки и рекуперации, извлечение из растворов ценных примесей, усвоение растительными и животными организмами питательных веществ и т.д.

Твердое тело, на поверхности которого происходит адсорбция, называется *адсорбентом*, а адсорбирующееся вещество – *адсорбатом* или *адсорбтивом*. Чаще применяются твердые адсорбенты – пористые тела и высокодисперсные порошки.

Адсорбция на границе «твердое тело – раствор» - явление более сложное, чем адсорбция на жидкой поверхности. Во-первых, здесь приходится учитывать влияние силового поля, структуры и природы твердой поверхности, которая обычно бывает энергетически неоднородна. В отличие от жидкости, на твердой поверхности имеются активные и неактивные участки, а адсорбция происходит только на активных участках, т.е. является локализованной. Во-вторых, необходимо учитывать межмолекулярные взаимодействия в растворе. Жидкой фазой является раствор, который состоит из двух компонентов: растворителя и растворенного вещества. Оба компонента могут адсорбироваться на поверхности. Между ними происходит конкуренция за места в поверхностном слое. Адсорбционная способность растворенного вещества будет зависеть от природы растворителя и поверхности.

Одной из важнейших закономерностей адсорбции из растворов является правило выравнивания полярностей Ребиндера, согласно которому на твердой поверхности адсорбируется вещество, которое выравнивает полярности твердой и жидкой фаз. Например, из водного (полярного) раствора пропионовая кислота хорошо адсорбируется на неполярном угле (рис. 2.1).

Молекула пропионовой кислоты ( $C_2H_5COOH$ ) имеет дифильное строение: она состоит из полярной части ( $-COOH$ ), условно изображаемой кружком, и неполярной части (радикала  $-C_2H_5$ ), условно изображаемого черточкой. Полностью молекулу  $C_2H_5COOH$ , которая является поверхностно активным веществом, обозначают символом  $\bigcirc$ .

На неполярном адсорбенте (угле) молекула пропионовой кислоты будет адсорбироваться своей неполярной частью, т.е. углеводородным радикалом. Если взять полярный адсорбент (например, силикагель), то на нем, в основном, адсорбируются молекулы полярного растворителя – воды. Если необходимо извлечь пропионовую кислоту из неполярного растворителя (например, бензола), то в качестве адсорбента используют полярные поверхности (силикагель, глину), на которой будут адсорбироваться полярные группы ( $-\text{COOH}$ ) молекулы.

Из правила выравнивания полярностей Ребиндера следует, что чем больше разность полярностей между растворителем и твердым адсорбентом, тем лучше адсорбируется растворенное вещество (например, ПАВ). И, наоборот, если по своей природе адсорбент ближе к растворителю, то растворенное вещество адсорбируется плохо, а молекулы растворителя – хорошо.

РИСУНОК

**Рис. 2.1.** Ориентация молекул ПАВ на границе «твердое тело – раствор ПАВ»: а – адсорбция на неполярном адсорбенте из полярного растворителя; б – адсорбция на полярном адсорбенте из полярного растворителя; в – адсорбция на неполярном адсорбенте из неполярного растворителя; г – адсорбция на полярном адсорбенте из неполярной среды.

Иначе говоря, чем хуже растворитель смачивает твердую поверхность, тем лучше адсорбируются молекулы растворенного вещества.

Молекулы адсорбирующегося поверхностно-активного вещества ориентируются в поверхностном слое так, что происходит уравнивание полярностей в пограничном слое, приводящее к уменьшению поверхностного натяжения системы.

Вторая закономерность адсорбции на границе «твердое тело – раствор» связана с применением правила Траубе: адсорбционная способность возрастает в гомологическом ряду, т.е. чем выше молекулярная масса вещества, тем лучше его адсорбционная способность. Адсорбция молекул растворенного вещества на твердой поверхности обратима, т.е. разбавление раствора вызывает десорбцию – удаление адсорбированных молекул с поверхности фаз. Поэтому каждой новой равновесной концентрации соответствует определенное количество адсорбированных молекул. Экспериментальные изотермы адсорбции представляют собой зависимости адсорбции от равновесной концентрации. Количественно эта зависимость может быть описана уравнением Ленгмюра:

$$\Gamma = \Gamma_{\infty} \frac{bc}{1 + bc} \quad (2.1)$$

где  $\Gamma_{\infty}$  – предельная величина адсорбции;

$b$  – константа адсорбционного равновесия.

Для средних значений концентрации применяется уравнения Фрейндлиха:

$$\Gamma = \beta \cdot C^{1/n} \quad (2.2)$$

где  $\beta$  – адсорбция при равновесной концентрации, равной 1 моль/л (возрастает с увеличением длины углеводородного радикала);

$1/n$  – показатель, характеризующий степень при приближения изотермы к прямой (для адсорбции из растворов он меняется в пределах  $0,1 \div 0,5$ ).

При больших значениях концентрации  $C$  количество адсорбированного вещества будет постоянно, значит, показатель  $1/n$  должен быть равен 0 (т.е.  $n \rightarrow \infty$ ). Приближение к насыщению поверхности адсорбента должно приводить к уменьшению значения  $1/n$ . Поэтому, чем выше адсорбционная способность вещества, тем меньше показатель.

Так, в гомологическом ряду муравьиная кислота – валериановая кислота константа  $1/n$  уменьшается от 0,45 до 0,23. Величину адсорбции на твердом адсорбенте определяют как отношение избытка компонента, адсорбированного в поверхностном слое  $x$  к массе адсорбента  $m$ :

$$\Gamma = x/m. \quad (2.3)$$

Экспериментально количество адсорбированного вещества определяют путем измерения концентрации раствора  $C_0$  до равновесной концентрации после адсорбции  $C$ :

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

где  $V$  – объем раствора, из которого осуществляется адсорбция. Следовательно,

$$\Gamma = \frac{(C_0 - C) \cdot V}{m} \cdot 1000 \text{ [ммоль/г]}. \quad (2.5)$$

В ряде случаев адсорбции определяют как количество вещества  $C_s$  в поверхностном слое, отнесенное к массе или поверхности адсорбента

$$A = \frac{C_s \cdot V}{m}. \quad (2.6)$$

Если  $C_s \gg C$ , то  $C_s = C_0$ , и величины  $\Gamma$  и  $A$  совпадают.

## «Устойчивость дисперсных систем»

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4 ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЛИТНОЙ КОАГУЛЯЦИИ ЗОЛЕЙ

**Цель работы:** определение порогов коагуляции электролитов.

**Определение приборы и реактивы:** золь гидроксида железа (2, 0 %-ный раствор); растворы электролитов KCL (4M), NaCL (4 M), K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ( 0,5 M), Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0,5 M), K<sub>3</sub>C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>O (0,33M), чистые пробирки и пипетки.

**Контрольные вопросы:** устойчивость лиофобных коллоидных систем и их стабилизация, коагуляция золей, правила электролитной коагуляции.

#### **Теоретическое введение**

*Лиофобные* коллоидные системы характеризуются избытком свободной поверхностной энергии:

$$F_{1,2} = \sigma_{1,2} S_{1,2}. \quad (1)$$

где  $S_{1,2}$  — межфазная поверхность (индекс 1,2 означает фазы), достигает больших значений вследствие высокоразвитой поверхности раздела дисперсной фазы (1) и дисперсионной среды (2), а также значительной величины межфазного натяжения  $\sigma_{1,2}$ .

Согласно второму закону термодинамики, величина  $F_{1,2}$  как свободная энергия стремиться к минимуму, что проявляется в укрупнении частиц за счет их слипания. Это, в конечном счете, приводит к разделению системы на макрофазы. Таким образом, лиофобные коллоидные системы являются принципиально термодинамическими неустойчивыми системами.

Для существования устойчивой коллоидной системы должны соблюдаться следующие условия: постоянство величины дисперсности  $D = 1/d$  ( $d$  — диаметр частицы) и равномерность распределения дисперсной фазы в дисперсионной среде. Способность коллоидной системы сохранять дисперсность, т.е размер частиц во времени, называется *агрегативной устойчивостью*. Способность коллоидной системы сохранять равномерность распределения дисперсной фазы в дисперсионной среде называется *кинетической устойчивостью*. Потеря коллоидной системой устойчивости приводит к *коагуляции* — процессу агрегирования частиц, в результате которого система может потерять агрегативную и кинетическую устойчивость.

В дисперсных системах, сохраняющих агрегативную устойчивость во времени, действуют те или иные факторы стабилизации.

Факторы агрегативной устойчивости дисперсных систем подразделяются на термодинамические и кинетические.

К термодинамическим относятся следующие:

1. *Электростатический* — способствует созданию электростатических сил отталкивания, возрастающих при увеличении потенциала частиц поверхности ( $\varphi$ ) и особенно электрокинетического ( $\xi$ ) потенциала;
2. *Адсорбционно-сольватный* — приводит к уменьшению межфазного натяжения и снижению энергии Гиббса поверхности раздела фаз.
3. *Энтропийный* — является дополнением к двум первым факторам, что особенно характерно для тонкодисперсных систем, частицы дисперсной фазы которых участвуют в броуновском движении. Этот фактор способствует равномерному распределению частиц по объёму системы.

К кинетическим факторам устойчивости, снижающим скорость агрегации частиц дисперсной фазы, относятся:

1. *Структурно-механический*, связанный с образованием на поверхности частиц защитных слоев, стойких к разрушению и обладающих упругостью и механической прочностью.

2. *Гидродинамический*, снижающий скорость агрегации вследствие изменения вязкости среды, плотности дисперсной фазой и дисперсионной среды.

В дисперсных системах агрегативная устойчивость обусловлена действием одновременно нескольких факторов, но основным из них является электростатический и адсорбционно-сольватный.

Нарушение факторов стабилизации приводит к потере коллоидной системой устойчивости, то есть коагуляции. *Коагуляция*— это процесс агрегирования (слипания) частиц, в результате которого система теряет агрегативную и кинетическую устойчивость. Коагуляция может быть вызвана разнообразными причинами: добавкой электролита (электролитная коагуляция), изменение температуры, механическим воздействиям, воздействием света и т.д.

Особенно чувствительны золи к действию на них электролитов.

В зависимости от концентрации электролита коагуляция осуществляется в две стадии: медленную и быструю (рис.1)

При медленной коагуляции изменение концентрации сопровождается резким изменением скорости коагуляции. В области быстрой коагуляции увеличение концентрации электролита в коллоидной системе не вызывает изменения скорости коагуляции, достигшей своего максимального значения.

Концентрацию электролита начиная с которой скорость коагуляции отстаёт постоянной, называют порогом коагуляции.

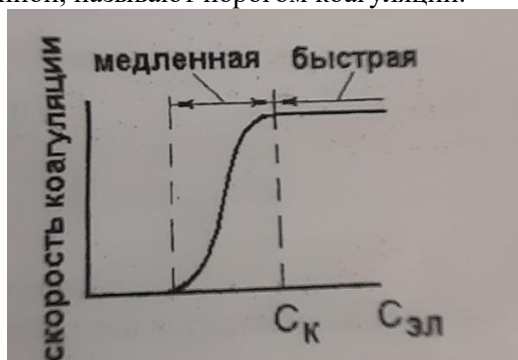


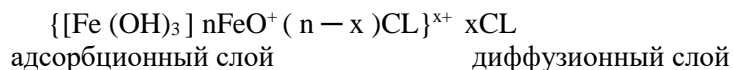
Рис. 1 Зависимость скорости коагуляции от концентрации электролита

При быстрой коагуляции золей электролитами возможны два механизма:

1. Концентрационная коагуляция, при которой потеря устойчивости вызывается сжатием в диффузной части двойного электрического слоя (ДЭС) при неизменяющемся  $\varphi$  - потенциале поверхности.

2. Нейтрализационная коагуляция, происходящая в результате снижения поверхностного  $\varphi$  - потенциала частиц ( $\varphi$  - электрохимический потенциал).

Существует *правила электролитной коагуляции*. Рассмотрим их на конкретном примере:



Частицы золя положительно заряжены, и его агрегативная устойчивость в основном обусловлена наличием электростатического фактора стабилизации. Кроме того, здесь действуют сольватный и энтропийный факторы.

При добавлении электролитов (например,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) происходит коагуляция гидрозоля железа, о чём свидетельствует изменение его цвета. Заканчивается процесс коагуляции выделением осадка — *коагулянта*.

Добавление электролита в гидрозоль приводит к сжатию диффузной части электрического слоя мицелл, благодаря чему они могут приблизиться друг к другу. При этом часть противоионов (в приведенном примере противоионы  $\text{CL}^-$ ) переходит из диффузионного слоя в адсорбционный, и заряд частицы уменьшается. В связи с этим уменьшаются силы отталкивания между частицами и возрастают силы молекулярного притяжения, которые действуют на коротких расстояниях.



В итоге введение электролита вызывает потерю агрегативной устойчивости золя.

Существует несколько правил электролитной коагуляции:

1. Добавка любого электролита в золь вызывает коагуляцию.
2. Коагулирующая способность электролита характеризуется порогом быстрой коагуляции  $C_k$  - минимальной концентрацией электролита, вызывающей коагуляцию коллоидной системы. Чем меньше порог коагуляции, тем больше коагулирующая способность электролита. Значение  $C_k$  можно рассчитать по формуле

$$C_k = \frac{C_{эл} * V}{V}, \quad (2)$$

где  $V_{эл}$  (мл) — пороговый объем раствора электролита концентрации  $C_{эл}$ , добавляемого в  $V$  (мл) исходного золя.

3. Коагулирующим ионом является ион электролита, имеющий знак заряда, противоположный знаку заряда коллоидной частицы. В случае гидрозоль железа коагулирующим ионом будет анион электролита.
4. Чем больше заряд коагулирующего иона, тем больше коагулирующая способность электролита (правило Шульце-Гарди).

Так, в случае электролитной коагуляции гидрозоль железа

$$C_{k \text{ Cl}^-} > C_{k \text{ SO}_4^{2-}}$$

Для различных электролитов величины порогов коагуляции сильно различаются, даже если они найдены для одного и того же золя. Теоретическими расчётами показано, что концентрационный порог коагуляции обратно пропорционален шестой степени величины заряда (правило Дерягина-Ландау):

$$C_k = B \frac{\varepsilon (kT)^5}{A^2 e^6 z^6} = \frac{const}{z^6}, \quad (3)$$

где  $B$  — константа, слабо зависящая от асимметрии электролита, т.е. отношения числа зарядов катиона и аниона;  $e$  — заряд электрона;  $z$  — заряд коагулирующего иона.

Порог концентрационной коагуляции не зависит от  $\phi$  — потенциала, но зависит от значения постоянной  $A$ , диэлектрической проницаемости  $\varepsilon$  раствора, температуры  $T$ , и заряда  $z$  коагулирующего иона. Из уравнения следует что значение порога коагуляции для одно- двух- трехзарядных ионов должны относиться как

$$\frac{1}{1^6} : \frac{1}{2^6} : \frac{1}{3^6} = 1 : \frac{1}{64} : \frac{1}{729} = 1 : 0,016 : 0,0013 \quad (4)$$

### **Выполнение работы**

Работа выполняется по одной из методик, указанных преподавателем.

#### **Методика 1**

Определение порога коагуляции золя гидроксида железа производится методом светорассеяния.

Метод основан на определении зависимости оптической плотности от концентрации вводимого электролита.

Готовят золь гидроксида железа: в колбу 250 мл кипящей дистиллированной воды наливают 10 мл раствора хлорида железа (2 %-ный раствор). Образуется золь красно-коричневого цвета. Охлаждают золь до комнатной температуры

Затем исследуют коагуляцию полученного золя при введении в него раствора сульфата калия (0,00125 М) путем изменения оптической плотности  $D$  получаемой системы.

В 10 тщательно вымытых пробирок наливают по 10 мл полученного золя, дистиллированную воду и раствор сульфата калия в объеме указанном в таблице.

Таблица 1

Номер пробирки	11	2	3	4	6	6	7	8	9	10
Объем воды, мл	10	9.5	9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5
Объем электролита, мл	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.6
Оптическая плотность D										

Электролит вводят в каждую пробирку золью за 2-4 минуты непосредственно перед изменением её оптической плотности. Измеряют оптическую плотность золи в каждой пробирке с помощью электрофотокolorиметра (согласно инструкции к прибору) с применением светофильтра №8. Полученные данные заносят в таблицу 1.

Строят зависимость оптической плотности D от объема электролита  $D = f(V_{эл})$  (рис.2). Порог быстрой коагуляции находят по пороговому объему электролита  $V_k$  (мл), при котором оптическая плотность золи достигает максимального значения, а при дальнейшем добавлении электролита не изменяется.

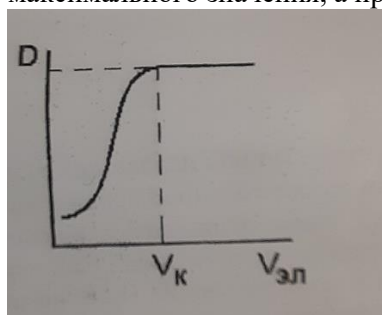


Рис.2 Зависимость оптической плотности золи от объема добавленного электролита —  $K_2SO_4$

Значение  $C_k$  рассчитывают по формуле:

$$C_k = \frac{C_{эл} \cdot V_k}{V} 1000, \text{ ммоль/л} \quad (5)$$

где  $C_{эл}$  — концентрация введенного электролита, моль/л (0,00125 М), V — объем электролита, мл.

## Методика 2

Готовят контрольную пробу: в пробирку наливают 1 мл золи и добавляют 1 мл дистиллированной воды. Контрольной пробой пользуются на протяжении всех опытов. Отклонение испытуемой пробы от контрольной (появление мутности, изменение окраски, выпадение осадка) указывает на наличие коагуляции.

Измерение порогов коагуляции производится следующим образом. В пробирки наливают по 1 мл золи (одной и той же пипеткой на 1 мл). Затем в каждую пробирку прибавляют по одному мл раствора электролита определенной концентрации. Концентрация электролита от пробирки к пробирке уменьшают вдвое. Например, пробирка №1 содержит 1 мл золи в смеси с 1 мл 0,5 М раствора электролита, пробирка №2 содержит тот же объем золи в смеси с 1 мл 0,25 М раствора электролита и т.д.

При выполнении работы используют следующий метод разбавления. В чистую пробирку наливают 1 мл электролита исходной концентрации и 1 мл этого же электролита приливают к золю в пробирку №1. К 1 мл неразбавленного электролита добавляют 1 мл  $H_2O$ , получают 2 мл раствора электролита, концентрация которого в два раза меньше первоначальной. Далее 1 мл полученного раствора электролита отливают в пробирку с золю №2, а оставшийся 1 мл снова разбавляют водой вдвое.

Каждый раз при сливании золи с электролитом отмечают действие последнего на золь. Если установлено, что прибавление 1 мл 0,5 М раствора электролита вызывает коагуляцию, т.е. изменяется цвет золи, а прибавление 0,25 М раствора не даёт внешних изменений в золи, то определение порога коагуляции можно считать законченным и дальнейших разбавлений

производить не следует. Отметим, что коагуляции нет, если золь в смеси с электролитом по внешнему виду не отличается от контрольной пробы. Полученные результаты заносят в таблицу 2.

Таблица 2

№ пробирки	Концентрация прибавленного электролита моль/л	Действие электролита (+ или —)

*Примечание:* Знаком (—) отмечают отсутствие коагуляции, знаком (+) — наличие.

Расчет порогов коагуляции можно производить следующим образом. Если при действии 0,5 мл раствора наблюдается коагуляция, а при действии 0,5 М раствора коагуляции не происходит, то порог коагуляции рассчитывается как средняя величина этих двух значений концентраций электролита. Учитывая, что при смешении раствора электролита с равным объемом золь концентрация электролитов понижается вдвое, порог коагуляции в приведенном примере:

$$C_k = \frac{0,5 + 0,25}{2 * 2} * 1000, \quad [ \text{мМ} / \text{л} ]. \quad (6)$$

Сравнение порогов коагуляции различных электролитов позволяет сделать вывод о знаке заряда коллоидных частиц.

Например, электролиты NaCl и Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> имеют одинаковый катион Na<sup>+</sup> и различные анионы Cl<sup>-</sup> и SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. По правилу Шульца-Гарди коагулирующими ионами будут Cl<sup>-</sup> и SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, так как порог коагуляции для Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> меньше порога коагуляции NaCl. Следовательно, частица исследуемого золь заряжены положительно. При введении в золь лимоннокислого натрия — электролита с трехзарядным анионом — наблюдается явление неправильных рядов. Оно заключается в том, что при добавлении электролита золь сначала устойчив, затем в определенном интервале концентраций происходит коагуляция. При дальнейшем добавлении электролита трехзарядные анионы перезаряжают положительно заряженные частицы гидрозоля железа и золь становится устойчивым. Наконец, при высоких концентрациях электролита наступает окончательная коагуляция. Таким образом, явление неправильных рядов сопровождается чередованием зон устойчивости и неустойчивости при введении в золь многозарядных ионов.

### ***Критерии оценки лабораторных работ: (о/о-з/з)***

При подготовке к лабораторной работе по «Коллоидной химии» в 4 семестре студент должен выполнить следующие виды работ:

- самостоятельная проработка теоретического материала к лабораторной работе;
- ознакомление с установкой, прибором, методикой выполнения лабораторной работы;
- выполнение необходимого эксперимента;
- обработка результатов исследования, построение графиков;
- анализ результатов исследования и вывод по работе.
- **максимально  $4*8=32/3*8=24/2*15=30$**  за каждую выполненную лабораторную работу, если работа выполнена в полном объеме, в отчете правильно и аккуратно выполнены все вычисления и построены графики, логически и обоснованно приведены выводы по теме лабораторной работы.
- **минимально  $4*5=20/3*2=6/2*10=20$**  если в ходе эксперимента допущены грубые промахи, в отчете есть грубые ошибки, присутствуют ошибки в вычислениях, неточно построены графики, не логически сформирован вывод к лабораторной работе.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Нижекамский химико-технологический институт (филиал)  
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»  
*Факультет- технологический*  
Кафедра - ОХБТ  
направление 18.03.01 «Химическая технология»  
профиль/программа:  
«Химическая технология органических веществ»  
«Технология переработки полимеров»  
«Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов»

### Семестр 3- 4

#### Комплект вопросов коллоквиумов по разделам по дисциплине Б1.О.22«Коллоидная химия»

Раздел 1. «Основные понятия, характеристики коллоидных систем»  
Тема «Классификация дисперсных систем. Получение и очистка дисперсных систем. Строение мицеллы».  
Коллоквиум №1.  
Вариант № 1

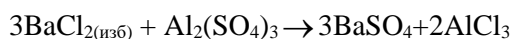
1. По какому признаку классифицируют дисперсные системы на высокодисперсные, среднедисперсные и грубодисперсные:
  - 1) По степени дисперсности или размеру частиц дисперсной фазы;
  - 2) По агрегатному состоянию дисперсной фазы и дисперсионной среды;
  - 3) По взаимодействию дисперсной фазы и дисперсионной среды;
  - 4) По взаимодействию частиц дисперсной фазы.
2. По какому признаку классифицируют дисперсные системы на свободно- и связнодисперсные:
  - 1) По степени дисперсности;
  - 2) По агрегатному состоянию дисперсной фазы и дисперсионной среды;
  - 3) По взаимодействию дисперсной фазы и дисперсионной среды;
  - 4) По взаимодействию частиц дисперсной фазы.
3. Какая формула соответствует определению «дисперсности»?
  - 1)  $D=a$  (м)
  - 2)  $D=1/a$  (м<sup>-1</sup>)
  - 3)  $D=r$  (м)
  - 4)  $D=a*r$  (м<sup>2</sup>)
4. Какие из перечисленных классификаций дисперсных систем относятся к общему признаку:
  - 1) По виду дисперсной фазы;
  - 2) По размеру частиц дисперсной фазы;
  - 3) По взаимодействию частиц дисперсной фазы;
  - 4) По степени взаимодействия дисперсной фазы и дисперсионной среды;
  - 5) По агрегатному состоянию дисперсной фазы и дисперсионной среды.
5. Какими из перечисленных способов получают дисперсные системы:
  - 1) флотация;
  - 2) пептизация;
  - 3) смачивание;
  - 4) диспергирование;

- 5) конденсация;
- 6) адгезия.
6. Дисперсная система – это...(закончите предложение).
7. Что называют дисперсной фазой?
  - 1) совокупность измельченных частиц;
  - 2) среду, в которой равномерно распределены частицы;
  - 3) окружающую жидкость;
  - 4) окружающую жидкость и совокупность измельченных частиц.
8. .... - системы состоящие из частиц одного размера.
9. Основные признаки дисперсных систем
  - 1) не высокая раздробленность;
  - 2) высокая раздробленность и гетерогенность;
  - 3) гомогенность.
10. Какой размер имеют частицы в среднедисперсных системах?
  - 1)  $10^{-7} - 10^{-5}$  м;
  - 2)  $10^{-5} - 10^{-3}$  м;
  - 3)  $10^{-9} - 10^{-7}$  м;
  - 4)  $10^{-9}$  м.
11. Сплавы, замороженное масло являются представителями дисперсных систем типа:
  - 1) твердое в жидком;
  - 2) твердое в твердом;
  - 3) жидкое в твердом;
  - 4) газообразное в твердом.
12. Почва, живые клетки являются представителями дисперсных систем типа:
  - 1) жидкое в твердом;
  - 2) жидкое в жидком;
  - 3) твердое в жидком;
  - 4) газообразное в жидком.
13. Туман, облака являются представителями дисперсных систем типа:
  - 1) жидкое в газообразном;
  - 2) жидкое в жидком;
  - 3) жидкое в твердом;
  - 4) газообразное в жидком.
14. Написать формулу мицеллы:
 
$$\text{BaCl}_{2(\text{изб})} + \text{NaSO}_4 \rightarrow \text{BaSO}_4 \downarrow + 2\text{NaCl}$$

## Вариант № 2

1. По какому признаку классифицируют дисперсные системы на лиофильные и лиофобные:
  - 1) по степени дисперсности;
  - 2) по агрегатному состоянию дисперсной фазы и дисперсионной среды;
  - 3) по взаимодействию дисперсной фазы и дисперсионной среды;
  - 4) по взаимодействию частиц дисперсной фазы .
2. По какому признаку классифицируют дисперсные системы на бесструктурные и структурированные:
  - 1) по степени дисперсности;
  - 2) по агрегатному состоянию дисперсной фазы и дисперсионной среды;
  - 3) по взаимодействию дисперсной фазы и дисперсионной среды;
  - 4) по взаимодействию частиц дисперсной фазы .
3. Из приведенных ниже формул выберите ту, которая справедлива для удельной поверхности:

- 1)  $S_{уд} = S_{1.2} / V$
- 2)  $S_{уд} = S_{1.2} * V$
- 3)  $S_{уд} = V / S_{1.2}$
4. Какие из перечисленных классификаций дисперсных систем относятся к частному признаку:
  - 1) по виду дисперсной фазы;
  - 2) по размеру частиц дисперсной фазы;
  - 3) по взаимодействию частиц дисперсной фазы;
  - 4) по степени взаимодействия дисперсной фазы и дисперсионной среды;
  - 5) по агрегатному состоянию дисперсной фазы и дисперсионной среды.
5. Какими из перечисленных способов очищают коллоидные растворы?
  - 1) пептизация;
  - 2) диализ;
  - 3) диспергирование;
  - 4) ультрафильтрация;
  - 5) тиксотропия;
  - 6) электродиализ.
6. Дисперсная система – это...(закончите предложение).
7. Что называют дисперсионной средой?
  - 1) совокупность измельченных частиц;
  - 2) окружающую жидкость и совокупность измельченных частиц;
  - 3) среда, в которой равномерно распределены частицы.
8. .... - системы состоящие из частиц различных размеров.
9. Основные признаки дисперсных систем:
  - 4) гетерогенность;
  - 5) высокая раздробленность;
  - 6) высокая раздробленность и гетерогенность;
  - 7) гомогенность.
10. Какой размер имеют частицы в высокодисперсных системах?
  - 5)  $10^{-7} - 10^{-5}$  м;
  - 6)  $10^{-5} - 10^{-3}$  м;
  - 7)  $10^{-9} - 10^{-7}$  м;
  - 8)  $10^{-9}$  м.
11. Молоко, сырая нефть, являются представителями дисперсных систем типа:
  - 1) твердое в жидком;
  - 2) газообразное в жидком;
  - 3) жидкое в жидком;
  - 4) газообразное в газообразном.
12. Пыль, мука являются представителями дисперсных систем типа:
  - 1) жидкое в твердом;
  - 2) газообразное в жидком;
  - 3) твердое в газообразном;
  - 4) газообразное в твердом.
13. Пенопласт, хлеб являются представителями дисперсных систем типа:
  - 1) газообразное в твердом;
  - 2) газообразное в жидком;
  - 3) твердое в жидком;
  - 4) твердое в твердом.
14. Написать формулу мицеллы:



**Раздел 2. «Поверхностные явления»**  
**Тема «Адсорбция на границе «жидкость-газ»**  
**Коллоквиум №2.**  
**Вариант № 1**

1. Какие из формул отражают понятие поверхностного натяжения?

а)  $G = -\frac{dC}{d\sigma}$ ;      б)  $\Gamma = -\frac{C}{RT} \cdot \frac{d\sigma}{dC}$ ;      в)  $\sigma = -\frac{\delta A}{dS}$ ;      г)  $\sigma = \frac{G_s}{S}$ .

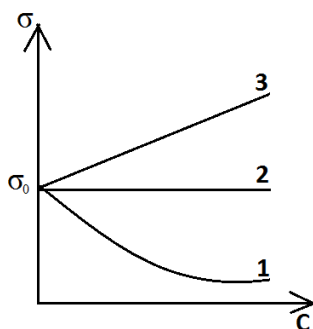
2. Какая из формул отражает понятие поверхностной активности?

а)  $g = -\left(\frac{d\sigma}{dC}\right)$ ;      б)  $g = -\left(\frac{dC}{d\sigma}\right)$ ;      в)  $\sigma = \frac{G_s}{S}$ .

3. Поверхностно-активными веществами (ПАВ) называются вещества:

- а) способные повышать поверхностное натяжение;
- б) способные понижать поверхностное натяжение;
- в) способные равномерно распределяться между объемом фазы и поверхностным слоем;
- г) при растворении которых поверхностное натяжение не изменяется.

4. Какая из приведенных кривых соответствует ПАВ:



5. Какие из приведенных веществ (в случае водных растворов) относятся к ПИАВ:

- а)  $\text{BaSO}_4$ ;      г)  $\text{NaCl}$ ;
- б)  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ;      д)  $\text{HCl}$ ;
- в)  $\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$ ;      е)  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

6. Поверхностно-неактивными веществами (ПНАВ) называются вещества:

- а) способные повышать поверхностное натяжение;
- б) способные понижать поверхностное натяжение;
- в) способные равномерно распределяться между объемом фазы и поверхностным слоем;
- г) при растворении которых поверхностное натяжение не изменяется.

7. Какая из приведенных кривых соответствует ПИАВ:

8. Методы определения поверхностного натяжения подразделяются на:

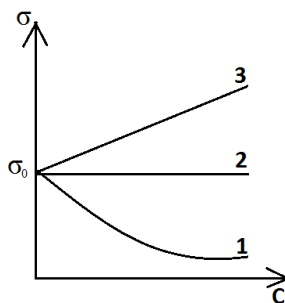
- а) диспергационные методы;
- б) статические;
- в) конденсационные;
- г) динамические.

9. Какие из приведенных методов используются для определения поверхностного натяжения растворов ПАВ:

- а) метод капиллярного поднятия жидкости;
  - б) метод отрыва кольца;
  - в) метод наибольшего давления пузырька газа в жидкости;
  - г) метод отрыва капли;
  - д) все перечисленные.
10. При каких условиях выполняется правило Траубе-Дюкло?
- а) при больших концентрациях ПАВ;
  - б) при комнатной температуре;
  - в) при малых концентрациях;
  - г) для полярных растворителей;
  - д) для неполярных растворителей;
  - е) для ПАВ с небольшой длиной углеводородного радикала.

### Вариант № 2

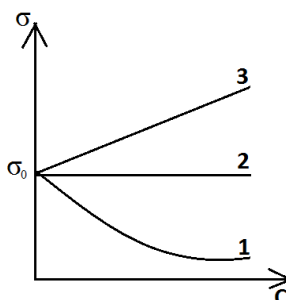
1. Какие из формул отражают понятие поверхностного натяжения?
- а)  $G = -\frac{dC}{d\sigma}$ ;      б)  $\Gamma = -\frac{C}{RT} \cdot \frac{d\sigma}{dC}$ ;      в)  $\sigma = -\frac{\delta A}{dS}$ ;      г)  $\sigma = \frac{G_s}{S}$ .
2. Какая из формул отражает понятие поверхностной активности?
- а)  $g = -\left(\frac{d\sigma}{dC}\right)$ ;      б)  $g = -\left(\frac{dC}{d\sigma}\right)$ ;      в)  $\sigma = \frac{G_s}{S}$ .
3. Поверхностно-инактивными веществами (ПИАВ) называются вещества:
- а) способные повышать поверхностное натяжение;
  - б) способные понижать поверхностное натяжение;
  - в) способные равномерно распределяться между объемом фазы и поверхностным слоем;
  - г) при растворении которых поверхностное натяжение не изменяется.
4. Какая из приведенных кривых соответствует ПНАВ:



5. Какие из приведенных веществ (в случае водных растворов) относятся к ПАВ:
- а)  $C_3H_7COOH$ ;
  - б)  $C_4H_9OH$ ;
  - в)  $H_2SO_4$ ;
  - г)  $C_{13}H_{33}COONa$ ;
  - д)  $NaCl$ .
6. Какие из приведенных методов используются для определения поверхностного натяжения растворов ПАВ:
- а) метод капиллярного поднятия жидкости;
  - б) метод отрыва кольца;
  - в) метод наибольшего давления пузырька газа в жидкости;
  - г) метод отрыва капли;
  - д) все перечисленные.
7. Методы определения поверхностного натяжения подразделяются на:



- а) диспергационные методы;
  - б) статические;
  - в) конденсационные;
  - г) динамические.
8. Какая из приведенных кривых соответствует ПАВ:



9. Какие из приведенных веществ (в случае водных растворов) относятся к ПИАВ:
- а)  $\text{BaSO}_4$ ;
  - б)  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ;
  - в)  $\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$ ;
  - г)  $\text{NaCl}$ ;
  - д)  $\text{HCl}$ ;
  - е)  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .
10. При каких условиях выполняется правило Траубе-Дюкло?
- а) при больших концентрациях ПАВ;
  - б) при комнатной температуре;
  - в) при малых концентрациях;
  - г) для полярных растворителей;
  - д) для неполярных растворителей;
  - е) для ПАВ с небольшой длиной углеводородного радикала.

### Тема «Адсорбция на границе «твердое тело-газ»

#### Коллоквиум №3.

#### Вариант № 1

1. Адсорбцией называется.....(закончите определение)
2. Твердое тело, на поверхности которого происходит адсорбция, называется.....
3. Вещество, молекулы которого могут адсорбироваться называется.....
4. Как классифицируют процессы адсорбции, в зависимости от природы адсорбционных сил?
  - а) физическая адсорбция;
  - б) адгезия;
  - в) когезия;
  - г) химическая адсорбция;
  - д) флуктуация.
5. Выберите особенности, характерные для хемосорбции:
  - а) обратима;
  - б) необратима;
  - в) локализованная;
  - г) специфичность;
  - д) высокая теплота адсорбции;
  - е) с повышением температуры увеличивается.
6. Какие из приведенных формул используются для количественного описания адсорбции?

а)  $\Gamma_i = \frac{(C_i^s - C_i) \cdot V_s}{S_{1,2}};$       г)  $g = -\left(\frac{d\sigma}{dC}\right)_{C \rightarrow 0};$

$$\text{б) } A_i = \frac{V_i^S}{S_{1,2}};$$

$$\text{д) } \Gamma = \Gamma_{\infty} \cdot \frac{b \cdot C}{1 + b \cdot C}.$$

$$\text{в) } \alpha_i = \frac{m_i^S}{m};$$

7. Как выглядит изотерма адсорбции ( $A=f(P)$ ,  $A=f(C)$ )? Каким уравнением описываются участки изотермы?
8. Какие основные теории адсорбции вы знаете? Перечислите их.
9. Каковы основные положения теории мономолекулярной адсорбции Ленгмюра? Напишите уравнение изотермы адсорбции Ленгмюра.
10. Каковы основные положения теории БЭТ? Напишите уравнение изотермы адсорбции БЭТ.

### Вариант №2

1. Адсорбцией называется.....(закончите определение)
2. Твердое тело, на поверхности которого происходит адсорбция называется.....
3. Вещество, молекулы которого могут адсорбироваться называется.....
4. Выберите особенности, характерные для физической адсорбции:
  - а) нелокализованная;
  - б) локализованная;
  - в) обратима;
  - г) малая специфичность;
  - д) высокая теплота адсорбции;
  - е) с повышением температуры уменьшается;
  - ж) незначительная теплота адсорбции.

5. Какие из приведенных формул используются для количественного описания адсорбции?

$$\text{а) } \Gamma_i = \frac{(C_i^S - C_i) \cdot V_S}{S_{1,2}};$$

$$\text{г) } g = -\left(\frac{d\sigma}{dC}\right)_{C \rightarrow 0};$$

$$\text{б) } A_i = \frac{V_i^S}{S_{1,2}};$$

$$\text{д) } \Gamma = \Gamma_{\infty} \cdot \frac{b \cdot C}{1 + b \cdot C}.$$

$$\text{в) } \alpha_i = \frac{m_i^S}{m};$$

6. Какие основные теории адсорбции вы знаете? Перечислите их.
7. Каковы основные положения теории полимолекулярной адсорбции Поляни?
8. Каковы основные положения теории БЭТ? Напишите уравнение изотермы адсорбции БЭТ.
9. Как классифицируют процессы адсорбции, в зависимости от природы адсорбционных сил?
  - а) физическая адсорбция;
  - б) адгезия;
  - в) когезия;
  - г) химическая адсорбция;
  - д) флуктуация.
10. Как выглядит изотерма адсорбции ( $A=f(P)$ ,  $A=f(C)$ )? Каким уравнением описываются участки изотермы?

Тема «Адсорбция растворенного в жидкости вещества на твердом теле»

Коллоквиум №4.

Вариант № 1

- Адсорбция на границе раздела «твердое тело – жидкость» - это.....(закончите определение)
- Дайте определение молекулярной адсорбции.
- Какими из уравнений можно количественно описать адсорбцию растворенного вещества на твердом адсорбенте:
 

$$\text{а) } a = \frac{V \cdot (C_0 - C_s)}{m};$$

$$\text{б) } a = \beta \cdot C_s^{1/n};$$

$$\text{в) } a = a_{\max} \cdot \frac{K \cdot C_s}{1 + K \cdot C_s};$$

$$\text{г) } a = \frac{m_i}{m}.$$
- Дайте определение ионной адсорбции.
- Какие из перечисленных факторов влияют на ионную адсорбцию:
  - химическая природа адсорбента;
  - полярность адсорбента;
  - химическая природа адсорбтива;
  - кристаллический радиус иона;
  - заряд иона.
- Укажите правильную последовательность способности заряда иона усиливать адсорбцию:
  - $\text{Mg}^{+2} < \text{Ca}^{+2} < \text{Sr}^{+2} < \text{Ba}^{+2}$ ;
  - $\text{K}^{+} < \text{Ca}^{+2} < \text{Al}^{+3} < \text{Th}^{+4}$ .
- Что называется лиотропными рядами?
- Перечислите особенности обменной адсорбции.
- Иониты – это.....
- Смачивание – это.....
- Когда наблюдаются случаи неполного или частичного смачивания?
- Адгезия – это.....
- Адсорбция на непористых адсорбентах зависит:
  - от сродства адсорбента к адсорбтиву;
  - от дисперсности адсорбента;
  - от молекулярности;
  - от удельной поверхности.

Вариант № 2

- Адсорбция на границе раздела «твердое тело – жидкость» - это.....(закончите определение)
- Какие межмолекулярные взаимодействия необходимо учитывать при данной адсорбции? (Выберите правильные варианты ответов)
  - между молекулами растворителя;
  - между растворенным веществом и растворителем;
  - между растворенными веществами;
  - строение поверхности твердого тела.

3. Дайте определение молекулярной адсорбции.
4. Какими из уравнений можно количественно описать адсорбцию растворенного вещества на твердом адсорбенте:
 

$$\text{а) } a = \frac{V \cdot (C_0 - C_s)}{m};$$

$$\text{б) } a = \beta \cdot C_s^{1/n};$$

$$\text{в) } a = a_{\max} \cdot \frac{K \cdot C_s}{1 + K \cdot C_s};$$

$$\text{г) } a = \frac{m_i}{m}.$$
5. Какие из перечисленных факторов влияют на молекулярную адсорбцию:
  - а) равновесная концентрация растворенного вещества;
  - б) природа растворителя;
  - в) природа адсорбента;
  - г) природа растворенного вещества;
  - д) температура;
  - е) время адсорбции;
  - ж) смачивание.
6. Перечислите особенности ионной адсорбции.
7. Приведите формулировку правила Панета – Фаянса.
8. По каким признакам классифицируют иониты (выберите варианты ответов):
  - а) по происхождению;
  - б) по составу;
  - в) по знаку заряда обменивающихся ионов;
  - г) по молекулярности.
9. Что значит полное смачивание?
10. Краевой угол или угол смачивания – это.....
11. Капиллярная конденсация – это.....
12. На какие группы подразделяются адсорбенты:
  - а) адсорбенты с гладкой поверхностью;
  - б) непористые адсорбенты;
  - в) пористые адсорбенты.
13. Адсорбция на непористых адсорбентах зависит:
  - а) от сродства адсорбента к адсорбтиву;
  - б) от дисперсности адсорбента;
  - в) от молекулярности;
  - г) от удельной поверхности.

### Вариант № 3

1. Адсорбция на границе раздела «твердое тело – жидкость» - это.....(закончите определение)
2. Как классифицируют явления адсорбции из жидких растворов на твердых адсорбентах?
3. Дайте определение молекулярной адсорбции.
4. Какими из уравнений можно количественно описать адсорбцию растворенного вещества на твердом адсорбенте:
 

$$\text{а) } a = \frac{V \cdot (C_0 - C_s)}{m};$$

$$\text{б) } a = \beta \cdot C_s^{1/n};$$

$$\text{в) } a = a_{\max} \cdot \frac{K \cdot C_s}{1 + K \cdot C_s};$$

$$\text{г) } a = \frac{m_i}{m}.$$
5. Ионная адсорбция является сложным процессом. Почему?

6. Укажите правильную последовательность возрастающей способности к адсорбции ионов: (несколько вариантов)
  - а)  $\text{Li}^+ < \text{Na}^+ < \text{K}^+ < \text{Rb}^+ < \text{Cs}^+$ ;
  - б)  $\text{Li}^+ > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Rb}^+ > \text{Cs}^+$ ;
  - в)  $\text{Mg}^{+2} < \text{Ca}^{+2} < \text{Sr}^{+2} < \text{Ba}^{+2}$ ;
  - г)  $\text{Cl}^- < \text{Br}^- < \text{NO}_3^- < \text{I}^- < \text{NCS}^-$ .
7. Ионообменная адсорбция – это.....
8. Что такое ионообменные смолы? Каковы их преимущества?
9. Что значит полное несмачивание?
10. Приведите уравнение Юнга. Для чего используют данное уравнение?
11. Когезия – это.....
12. Пористые тела – это.....
13. Адсорбция на пористых адсорбентах зависит:
  - а) от сродства адсорбента к адсорбтиву;
  - б) от размеров пор;
  - в) от пористости.

**Раздел 3. «Свойства дисперсных систем»**  
**Тема «Оптические свойства дисперсных систем»**  
**Коллоквиум №5**  
**Вариант № 1**

1. Какими главными признаками обусловлены оптические свойства?
2. Какие из перечисленных явления наблюдаются при падении луча света на дисперсную систему
  - а) прохождение света
  - б) преломление света
  - в) отражение света (если частицы непрозрачны)
  - г) рассеяние света
  - д) абсорбция света (поглощение)
  - е) опалесценция
  - ж) все перечисленные
3. Какие ученые обратили внимание на опалесценцию? Кто подробно изучил это явление.
4. Когда наблюдается светорассеяние? (ответ обоснуйте)
5. Как называются диаграммы, которые представляет картину рассеяния света? Как они строятся? Приведите схематически примеры таких диаграмм?
6. Какое уравнение вывел Рэлей? Запишите.
7. Согласно закону Бугера – Ламберта – Бэра, если толщина слоя среды растёт в .....(вставить пропущенные слова ), то интенсивность прошедшего света уменьшается в .....
8. Что характеризует экстинкция.
9. Какие из перечисленных методов относятся к оптическим:
  - а) ультрафильтрация;
  - б) ультрамикроскопия
  - в) нефелометрия
  - г) турбидиметрия
  - д) пептизация
  - е) электронная микроскопия
  - ж) рентгенография и электронография

10. Оптический метод определения концентрации частиц, основанный на измерении интенсивности рассеянного света, называется .....
11. Рентгенография и электронография основаны на применении ..... или .....
12. Какой прибор сконструирован Зигмонди и Зидентопф.
13. Интерференцией называют ..... (закончить предложение )?

#### Вариант № 1

1. Наиболее распространенными методами определения размера, формы и структуры коллоидных частиц являются ..... Чем это объясняется?
2. Какие из перечисленных явления наблюдаются при падении луча света на дисперсную систему:
  - а) прохождение свет
  - б) преломление света
  - в) отражение света (если частицы непрозрачны)
  - г) рассеяние света
  - д) абсорбция света (поглощение)
  - е) опалесценция
  - ж) все перечисленные
3. В чем заключается причина эффекта Тиндаля?
4. Какую особенность имеет рассеяние света? Какова интенсивность рассеянного света?
5. Как называются диаграммы, которые представляет картину рассеяния света? Как они строятся? Приведите схематически примеры таких диаграмм?
6. Что устанавливает закон Бугера – Ламберта – Бэра? Запишите этот закон.
7. Запишите величину оптической плотности раствора или экстинкции?
8. От каких из перечисленных характеристик, зависит молярный коэффициент поглощения:
  - а) от температуры.
  - б) природы растворенного вещества.
  - в) природы растворителя.
  - г) от длины волны абсорбируемого света.
  - д) все перечисленное
9. Какие из перечисленных методов относятся к оптическим:
  - а) ультрафильтрация.
  - б) ультрамикроскопия.
  - в) нефелометрия.
  - г) турбидиметрия.
  - д) пептизация.
  - е) электронная микроскопия.
  - ж) рентгенография и электронография
10. ....- метод основанный на измерении ослабления проходящего через коллоидную систему света, в результате светорассеяния.
11. Почему затруднено применение электронной микроскопии?
12. На оптические свойства дисперсных систем сильно влияют: (написать)
  - а)..... б)..... в).....
13. Интерференцией называют ..... (закончить предложение)

**Тема «Молекулярно-кинетические свойства коллоидных систем»**

**Коллоквиум №6**

**Вариант № 1**

1. Какие из перечисленных свойств относятся к молекулярно-кинетическим. (выберите правильные ответы.)

- а) осмотическое давление;
- б) броуновское движение;
- в) диализ;
- г) диффузия;
- д) седиментация;
- е) пептизация;
- ж) адгезия.

2. Седиментация – это.....

3. Осмотическое давление и осмос – это.....

4. Какая из приведенных ниже формул используется для расчета средней квадратичной величины всех смещений:

$$1) \, dm = -D \frac{dc}{dx} \cdot S \cdot d\tau \qquad 2) \, \overline{\Delta}^2 = \frac{R \cdot T}{3 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r \cdot N_A}$$

$$3) \, \overline{\Delta} = \sqrt{\frac{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \dots + \Delta_i^2}{h}}$$

5. Запишите I и II законы диффузии.

6. Напишите уравнение Эйнштейна, связывающее коэффициент диффузии (D) с T, вязкостью ( $\eta$ ) и r.

7. Давление, которое нужно приложить в процессе ..... к раствору, чтобы привести его уровень к уровню чистого растворителя называют.....

8. .... – это процесс оседания или осаждения частиц дисперсионной фазы в жидкой или газообразной среде под действием силы тяжести (написать выражение)

9. Запишите уравнение для потока седиментации.

10. Назовите несколько методов седиментационного анализа.

11. Как можно построить дифференциальную кривую распределения полидисперсионной системы? Как выглядит эта кривая? Что она показывает?

12. Какие из приведенных формул соответствуют для чистого растворителя и идеального раствора неэлектролитов:

$$1) \, dm = -D \frac{dc}{dx} \cdot S \cdot d\tau \quad 2) \, \pi = \frac{\nu_M \cdot R \cdot T}{(4/3) \cdot \pi \cdot r^3 \cdot \rho \cdot N_A} \quad 3) \, \pi V = R \cdot T \cdot \ln(1 - x) \quad 4) \, \pi V = n \cdot R \cdot T$$

13. Напишите уравнение Эйнштейна-Смолуховского, показывающее среднее значение квадрата смещения частицы за время  $\tau$ .

14. Какие принципы седиментационного анализа вы знаете? (Перечислите)

15. Запишите формулу для определения осмотического давления (уравнение Вант-Гоффа)

**Вариант № 2**

1. Какие из перечисленных свойств относятся к молекулярно-кинетическим. (выберите правильные ответы):

- а) осмотическое давление;

- б) броуновское движение;
- в) диализ;
- г) диффузия;
- д) седиментация;
- е) пептизация;
- ж) адгезия.

2. Броуновское движение – это.....

3. Кто обнаружил непрерывное движение частиц? Можно ли определить истинный путь коллоидных частиц? Почему?

4. Напишите уравнение Эйнштейна-Смолуховского, показывающее среднее значение квадрата смещения частицы за время  $\tau$ .

5. ....-это количество вещества проходящее через площадку в  $1 \text{ см}^2$  за 1 сек и пропорциональный градиенту концентрации.

6. Где проявляются процессы диффузии? (Ответ обоснуйте)

7. Какие из приведенных формул соответствуют для чистого растворителя и идеального раствора неэлектролитов:

$$1) dm = -D \frac{dc}{dx} \cdot S \cdot d\tau \quad 2) \pi = \frac{\nu_M \cdot R \cdot T}{(4/3) \cdot \pi \cdot r^3 \cdot \rho \cdot N_A} \quad 3) \pi V = R \cdot T \cdot \ln(1-x) \quad 4) \pi V = n \cdot R \cdot T$$

8. Почему седиментационную устойчивость называют кинетической устойчивостью системы?

9. Как называется данное уравнение:  $\ln\left(\frac{P_0}{P}\right) = \frac{m \cdot g \cdot h}{k \cdot T}$

10. На каких весах производится взвешивание осадка в процессе оседания частиц в суспензии?

11. Какая из приведенных формул позволяет рассчитать радиус частиц:

$$1) r_{icp} = \frac{r_i + r_{i+1}}{2} \quad 2) F(r) = \frac{g_i}{\Delta r_i} \quad 3) r = \sqrt{\frac{9 \cdot \eta \cdot H}{2 \cdot (\rho - \rho_0) \cdot g}}$$

12. Какая из приведенных ниже формул используется для расчета средней квадратичной величины всех смещений:

$$1) dm = -D \frac{dc}{dx} \cdot S \cdot d\tau \quad 2) \bar{\Delta}^2 = \frac{R \cdot T}{3 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r \cdot N_A} \quad 3) \bar{\Delta} = \sqrt{\frac{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \dots + \Delta_i^2}{h}}$$

13. Какие принципы седиментационного анализа вы знаете? (Перечислите)

14. Процесс односторонней диффузии.....

15. Какие режимы характерны для процесса диффузии?

### Вариант № 3

1. Какие из перечисленных свойств относятся к молекулярно-кинетическим.

Выберите правильные ответы:

- а) осмотическое давление;
- б) броуновское движение;
- в) диализ;
- г) диффузия;
- д) седиментация;
- е) пептизация;
- ж) адгезия.

2. Диффузией называется.....

3. Что является количественной мерой перемещения частиц?

4. Какие режимы характерны для процесса диффузии?



5. Чем для процесса диффузии является градиент концентрации?
6. Процесс односторонней диффузии-.....
7. Запишите формулу для определения осмотического давления (уравнение Вант-Гоффа)
8. .... – называют количество вещества, которое под действием силы тяжести проходит через площадку 1 см<sup>2</sup> в направлении перпендикулярном ей?
9. Какие принципы седиментационного анализа вы знаете? (Перечислите)
10. По каким данным строят кривую седиментации? Как выглядит эта кривая?
11. Назовите несколько методов седиментационного анализа.
12. Какая из приведенных формул позволяет рассчитать радиус частиц:

$$1) r_{icp} = \frac{r_i + r_{i+1}}{2} \quad 2) F(r) = \frac{g_i}{\Delta r_i} \quad 3) r = \sqrt{\frac{9 \cdot \eta \cdot H}{2 \cdot (\rho - \rho_0) \cdot g}}$$

13. Напишите уравнение Эйнштейна-Смолуховского, показывающее среднее значение квадрата смещения частицы за время  $\tau$ :
14. На каких весах производится взвешивание осадка в процессе оседания частиц в суспензии?
15. Какая из приведенных ниже формул используется для расчета средней квадратичной величины всех смещений:

$$1) dm = -D \frac{dc}{dx} \cdot S \cdot d\tau \quad 2) \bar{\Delta}^2 = \frac{R \cdot T}{3 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r \cdot N_A} \quad 3) \bar{\Delta} = \sqrt{\frac{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \dots + \Delta_i^2}{h}}$$

#### Тема «Электрокинетические свойства дисперсных систем»

##### Коллоквиум №7

##### Вариант № 1

1. Какие из перечисленных свойств относятся к электрокинетическим:
  - а) пептизация
  - б) нефелометрия
  - в) электроосмос
  - г) потенциал седиментации
  - д) турбидиметрия
  - е) электрофорез
  - потенциал течения
2. \_\_\_\_\_ – это явление переноса частиц дисперсной фазы под действием внешнего электрического поля.
3. \_\_\_\_\_ – называют явление, в которых обнаруживается взаимосвязь между относительным перемещением фаз в дисперсных системах и электрическим полем.
4. Из каких перечисленных двух частей состоит слой противоионов ДЭС:
  - а) плотно-адсорбционного слоя
  - б) диффузного слоя
  - в) ионного слоя
5. Существуют разные пути образования двойного электрического слоя. Выберите правильные ответы.
  - а) избирательная адсорбция поверхностью твердой частицы ионов из дисперсионной среды
  - б) избирательная адсорбция ионов, способных достраивать кристаллическую решетку частицы
  - в) избирательная адсорбция без достройки кристаллической решетки
  - г) поверхностная ионизация молекул твердой частицы
  - д) все перечисленные ответы верны
6. Какие из предложенных определений относятся:

- 1) к эффекту Квинке
- 2) к эффекту Дорна
- а) явление возникновения разности потенциалов на электродах, расположенных по обеим сторонам неподвижной капиллярно-пористой перегородки при продавливании через нее жидкости
- б) перемещение коллоидных частиц и дисперсионной среды под действием внешнего электрического поля
- в) явление возникновения потенциалов на электродах, расположенных на разной высоте в сосуде, в котором происходит оседание частиц дисперсной фазы.
7. Какую толщину имеет диффузный слой и какие ионы его образуют? Какими силами притягиваются эти ионы.
8. Какие из предложенных факторов влияют на электрокинетический потенциал:
  - а) pH среда
  - б) концентрация золя
  - в) температура
  - г) влияние природы дисперсионной среды
  - д) добавление индифферентного электролита
  - е) добавление неиндифферентного электролита
9. Перечислите теории строения двойного электрического слоя.
10. Какие методы используются для определения электрокинетического потенциала. Приведите формулы для расчета.

1. \_\_\_\_\_ – это явление переноса дисперсионной среды через неподвижную капиллярно-пористую перегородку под действием внешнего электрического поля.
2. Как называются явления противоположные электрофорезу и электроосмосу?
3. \_\_\_\_\_ – называют явление, в которых обнаруживается взаимосвязь между относительным перемещением фаз в дисперсных системах и электрическим полем.
4. В чем заключена причина электрокинетических явлений. Выберите правильные ответы:
  - а) В противоположности знаков зарядов твердой частицы и жидкой дисперсионной среды
  - б) В наличие двойного электрического слоя на поверхности раздела фаз
  - с) Оба варианта верные
5. Перечислите основные теории строения ДЭС.
6. Какие из предложенных определений относятся:
  - 1) к эффекту Квинке
  - 2) к эффекту Дорна
  - а) Явление возникновения разности потенциалов на электродах, расположенных по обеим сторонам неподвижной капиллярно-пористой перегородки при продавливании через нее жидкости
  - б) Перемещение коллоидных частиц и дисперсионной среды под действием внешнего электрического поля
  - с) Явление возникновения потенциалов на электродах, расположенных на разной высоте в сосуде, в котором происходит оседание частиц дисперсной фазы.
7. Граница скольжения – это
  - а) Геометрическая поверхность, по которой происходит разделение («разрыв») мицеллы на коллоидную частицу и диффузный слой при движении ее под действием электрического поля
  - б) Геометрическая поверхность, по которой происходит «разрыв» мицеллы на ядро и адсорбционный слой противоионов
  - с) Геометрическая поверхность, по которой происходит разделение мицеллы на агрегат и потенциалопределяющие ионы

- д) Геометрическая поверхность, по которой происходит разделение мицеллы на ядро и диффузный слой противоионов
8. Какими двумя видами сил связаны адсорбционные противоионы с заряженной твердой частицей?
9. Как называется ионное падение потенциала в двойном электрическом слое?
10. Какие методы используются для определения электрокинетического потенциала? Приведите формулы для расчета.

**Раздел 4. «Устойчивость дисперсных систем»**  
**Тема «Устойчивость дисперсных систем. Коагуляция»**  
**Коллоквиум №8.**  
**Вариант № 1**

1. Способность коллоидной системы сохранять дисперсность, т.е. размер частиц во времени, называется.....
2. Коагуляцией называется.....
3. Что называется порогом коагуляции:
  - а) объем золя, который коагулирует под действием 1 моля электролита;
  - б) минимальная концентрация электролита, при которой начинается коагуляция;
  - в) оба варианта.
4. Коагуляция – это самопроизвольный процесс, который приводит:
  - а) к уменьшению межфазной поверхности;
  - б) к увеличению межфазной поверхности;
  - в) к уменьшению свободной поверхностной энергии;
  - г) к увеличению свободной поверхностной энергии.
5. Какое из перечисленных определений подчиняется правилу Шульца-Гарди:
  - а) чем больше заряд коагулирующего иона, тем больше коагулирующая способность электролита;
  - б) коагулирующим ионом является ион электролита, имеющий знак заряда, противоположный знаку заряда коллоидной частицы;
  - в) коагулирующим действием обладает тот ион электролита, который имеет заряд одноименный заряду коллоидной частицы.
6. Какими свойствами иона определяется его коагулирующая сила:
  - а) знаком заряда иона;
  - б) величиной заряда иона;
  - в) размером иона;
  - г) все перечисленное.
7. Какие из перечисленных уравнений используются в качестве количественной характеристики коагуляции:
 

а)  $W = -\frac{dV}{d\tau};$

в)  $V_K = \frac{1}{C_K};$

б)  $\alpha = \frac{Z_{эф}}{Z};$

г)  $C_K = \alpha \cdot \left(\frac{1}{Z^6}\right).$
8. Факторы агрегативной устойчивости дисперсных систем подразделяются на:
  - 1) термодинамические;
  - 2) кинетические

Какие из перечисленных факторов относятся к первой, а какие ко второй:

  - а) электрокинетические;
  - б) адсорбционно-сольватные;
  - в) энтропийные;

- г) структурно-механические;
  - д) гидродинамические.
9. При коагуляции золя электролитами различают:
- а) нейтрализационную коагуляцию;
  - б) концентрационную коагуляцию;
  - в) смесь двух электролитов;
  - г) явление неправильных рядов;
  - д) все перечисленные.
10. Индифферентный электролит – это.....

#### Вариант № 2

1. Способность коллоидной системы сохранять равномерность распределения дисперсной фазы в дисперсионной среде называется.....
2. Что называется порогом коагуляции:
  - а) объем золя, который коагулирует под действием 1 моля электролита;
  - б) минимальная концентрация электролита, при которой начинается коагуляция;
  - в) оба варианта.
3. Назовите причины, которые могут привести к коагуляции коллоидной системы:
  - а) нагревание и охлаждение;
  - б) действие электромагнитных полей;
  - в) механическое воздействие;
  - г) действие видимого света;
  - д) облучение электромагнитными частицами;
  - е) добавление электролитов;
  - ж) все выше перечисленное.
4. Коагуляция – это самопроизвольный процесс, который приводит:
  - а) к уменьшению межфазной поверхности;
  - б) к увеличению межфазной поверхности;
  - в) к уменьшению свободной поверхностной энергии;
  - г) к увеличению свободной поверхностной энергии.
5. Какое из перечисленных определений подчиняется правилу Шульца-Гарди:
  - а) чем больше заряд коагулирующего иона, тем больше коагулирующая способность электролита;
  - б) коагулирующим ионом является ион электролита, имеющий знак заряда, противоположный знаку заряда коллоидной частицы;
  - в) коагулирующим действием обладает тот ион электролита, который имеет заряд одноименный заряду коллоидной частицы.
6. Какими свойствами иона определяется его коагулирующая сила:
  - а) знаком заряда иона;
  - б) величиной заряда иона;
  - в) размером иона;
  - г) все перечисленное.
7. Какие из перечисленных уравнений используются в качестве количественной характеристики коагуляции:
 

$$а) W = -\frac{dv}{d\tau};$$

$$б) \alpha = \frac{Z_{эф}}{Z};$$

$$в) V_K = \frac{1}{C_K};$$

$$г) C_K = \alpha \cdot \left( \frac{1}{Z^6} \right).$$

8. Факторы агрегативной устойчивости дисперсных систем подразделяются на:

1) термодинамические;

2) кинетические.

Какие из перечисленных факторов относятся к первой, а какие ко второй:

а) электрокинетические;

б) адсорбционно-сольватные;

в) энтропийные;

г) структурно-механические;

д) гидродинамические.

9. При коагуляции золя электролитами различают:

а) нейтрализационную коагуляцию;

б) концентрационную коагуляцию;

в) смесью двух электролитов;

г) явление неправильных рядов;

д) все перечисленные.

10. Неиндифферентный электролит – это.....

#### ***Критерии оценки коллоквиумов:***

Каждый коллоквиум оценивается: для О/О-З - максимальное количество баллов - 6 баллов за коллоквиум (6\*8=48), минимальное количество – 4 балла за коллоквиум (4\*8=32). Для заочной формы обучения: максимальное 15 баллов за коллоквиум (2\*15=30), минимальное 10баллов за коллоквиум (2\*10=20)

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Нижекамский химико-технологический институт (филиал)  
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»  
*Факультет- технологический*  
*Кафедра - ОХБТ*  
Направление 18.03.01 «Химическая технология»  
Профиль/программа:  
«Химическая технология органических веществ»  
«Технология переработки полимеров»  
«Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов»

**семестр 4**

**Комплект контрольных работ**  
по дисциплине Б1.О.22 «Коллоидная химия»

**Вариант 1**

- 1) Написать формулу мицеллы:  $\text{BaCl}_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4(\text{изб}) \rightarrow \text{BaSO}_4\downarrow + 2\text{NaCl}$ . Приведите схему строения и дайте определение мицеллы.
- 2) Дайте определение поверхностному натяжению. Перечислите методы определения поверхностного натяжения.
- 3) Перечислите основные теории устойчивости и коагуляции лиофобных дисперсных систем. Дайте краткую характеристику каждой теории.
- 4) Перечислите основные методы очистки дисперсных систем. Дайте краткое описание.
- 5) Структурно-механические свойства дисперсных систем. Типы структур.
- 6) Определите поверхностное натяжение жидкости, если в капилляре с диаметром  $d=1\cdot 10^{-3}$  м она поднимается на высоту  $h=32,6\cdot 10^{-3}$  м. Плотность жидкости  $\rho=1000$  кг/м<sup>3</sup>. Краевой угол смачивания  $\Theta=0^\circ$ .
- 7) Рассчитайте  $\zeta$ -потенциал частиц полистирольного латекса: смещение цветной границы золя  $a$  при электрофорезе составляет  $2,5\cdot 10^{-2}$  м за время  $t$ , равное 60 мин. Напряжение, приложенное к концам электродов,  $E=115$  В. Расстояние между электродами  $L=0,55$  м. Диэлектрическую проницаемость среды принять равной 81. Вязкость среды  $\eta=1\cdot 10^{-3}$  Па·с. Электрическая константа  $\epsilon_0=8,85\cdot 10^{-2}$  Ф/м.
- 8) Реологические свойства 20%-ной суспензии бентонитовой глины в исследуемом интервале нагрузок описываются реологической моделью, состоящей из последовательно соединенных элемента Гука и модели Кельвина-Фойгта со следующими параметрами: модуль упругости элемента Гука  $E=1,5\cdot 10^3$  Па; модуль эластичности  $E_\Sigma=1,3\cdot 10^3$  Па; вязкость элемента Ньютона  $\eta=1,2\cdot 10^5$  Па·с. Рассчитайте деформацию, развивающуюся в системе за 100 с при напряжении сдвига  $P=10$  Па.
- 9) Тема реферата: «Коллоидные ПАВ. Критическая концентрация мицеллообразования. Применение ПАВ». (объем реферата 5-10 листов формата А4, можно в рукописном варианте).

**Вариант 2**

- 1) Написать формулу мицеллы:  $\text{BaCl}_2(\text{изб}) + \text{Na}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{BaSO}_4\downarrow + 2\text{NaCl}$ . Приведите схему строения и дайте определение мицеллы.
- 2) Химическая адсорбция. Особенности хемосорбции. Интегральная и дифференциальная теплота адсорбции.

- 3) Свободнодисперсные системы. Законы Ньютона, Пуазейля, Эйнштейна. Жидкообразные структурированные системы.
- 4) Какие явления называются электрокинетическими? Дайте определение основных электрокинетических свойств.
- 5) Быстрая и медленная коагуляция. Факторы устойчивости лиофобных золей.
- 6) Адсорбция растворенного в воде ПАВ на поверхности ртути - вода подчиняется уравнению Ленгмюра. При концентрации ПАВ 0,2 моль/л степень заполнения поверхности  $\Theta=0,5$ . Рассчитайте поверхностное натяжение ртути на границе с раствором при 298 К и концентрации ПАВ в растворе 0,1 моль/л. Предельное значение площади, занимаемой молекулой ПАВ на поверхности,  $s_0=0,20 \text{ нм}^2$ , поверхностное натяжение ртути на границе с водой равно  $0,373 \text{ Дж/м}^2$ .
- 7) Проверьте применимость теории быстрой коагуляции (теории Смолуховского) к кинетике процесса коагуляции гидрозоля золота. Начальная численная концентрация золя  $v_0=20 \cdot 10^{14} \text{ частиц/м}^3$ ;  $t$  – время от начала коагуляции. Определите графически время половинной коагуляции золя  $\Theta$ , если  $T=300 \text{ К}$ . Данные по кинетике коагуляции следующие:
- |   |      |      |      |      |      |
|---|------|------|------|------|------|
| $t, \text{ с} \dots\dots\dots$                    | 0    | 30   | 60   | 120  | 480  |
| $v \cdot 10^{-14}, \text{ частиц/м}^3 \dots\dots$ | 20,0 | 14,7 | 10,8 | 8,25 | 3,00 |
- 8) Рассчитайте молекулярную массу поливинилового спирта по данным вискозиметрии: характеристическая вязкость  $[\eta]=0,15$ . Константы уравнения Марка – Гувинка составляют  $K=4,53 \cdot 10^{-5}$ ;  $\alpha=0,74$ .
- 9) Тема реферата: « Коллоидные ПАВ (поверхностно-активные вещества). Классификация. Свойства водных растворов ПАВ.» (объем реферата 5-10 листов формата А4, можно в рукописном варианте).

### Вариант 3

- 1) Написать формулу мицеллы:
- 2)  $\text{NaAuO}_2(\text{изб}) + 3\text{HCOOH} + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow 2\text{Au} + 3\text{HCOONa} + \text{NaHCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ . Приведите схему строения и дайте определение мицеллы.
- 2) Классификация дисперсных систем по общему признаку.
- 3) Какие вещества называются ПАВ? Условия для ПАВ. Их классификация.
- 4) Структурно-механические свойства дисперсных систем. Типы структур.
- 5) Что такое коагуляция? Какие факторы могут ее вызвать? Что такое порог коагуляции?
- 6) Определите поверхностную активность масляной кислоты на границе раствор – воздух при 283 К по следующим данным:
- |   |      |      |      |      |      |
|---|------|------|------|------|------|
| $C, \text{ кмоль/м}^3 \dots\dots$                 | 0,00 | 0,02 | 0,05 | 0,10 | 0,50 |
| $\sigma \cdot 10^{-3}, \text{ Дж/м}^2 \dots\dots$ | 74   | 69   | 64   | 60   | 44   |
- 7) Рассчитайте размер частиц диоксида кремния, если известно, что время их оседания  $t$  на расстояние  $h=10^{-2} \text{ м}$  составляет 60 мин. Плотности дисперсной фазы  $\rho = 2,7 \cdot 10^3$  и дисперсной среды  $\rho_0 = 1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ; вязкость среды  $\eta = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$ .
- 8) Частицы бентонита дисперсностью  $D=0,8 \text{ мкм}^{-1}$  оседают в водной среде под действием силы тяжести. Определите время оседания  $\tau_1$  на расстояние  $h=0,1 \text{ м}$ , если плотность бентонита  $\rho=2,1 \text{ г/см}^3$ , плотность среды  $\rho_0=1,1 \text{ г/см}^3$ , вязкость среды  $\eta=2 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$ . Во сколько раз быстрее осядут частицы на то же расстояние в центробежном поле, если начальное расстояние от оси вращения  $x_0=0,15 \text{ м}$ , а скорость вращения центрифуги  $n=600 \text{ об/с}$ .

9) Тема реферата: «Студни и студнеобразование. Их свойства. Применение. ». (объем реферата 5-10 листов формата А4, можно в рукописном варианте).

#### Вариант 4

- 1) Написать формулу мицеллы:  $\text{As}_2\text{O}_3 + 3 \text{H}_2\text{S}(\text{изб}) \rightarrow 3 \text{H}_2\text{O} + \text{As}_2\text{O}_3\downarrow$ . Приведите схему строения и дайте определение мицеллы.
  - 2) Перечислите основные методы получения дисперсных систем. Дайте краткую характеристику.
  - 3) Перечислите основные теории адсорбции. Дайте описание теории мономолекулярной адсорбции Ленгмюра.
  - 4) Классификация дисперсных систем по частному признаку.
  - 5) Изложите основные правила коагуляции.
  - 6) При адсорбции азота на активированном угле при 220 К получены следующие данные:
- |  |      |      |       |       |       |
|--|------|------|-------|-------|-------|
| $p, \text{Па}$ .....                         | 1870 | 6100 | 18000 | 33000 | 70000 |
| $a \cdot 10^{-3}, \text{м}^3/\text{кг}$ .... | 5    | 14   | 23    | 32    | 41    |

Плотность газообразного азота  $\rho = 1,25 \text{ кг/м}^3$ . Постройте изотерму адсорбции в линейных координатах. Рассчитайте константы  $a_\infty$  и  $k$  уравнения Ленгмюра. Определите удельную поверхность активированного угля.

7) Рассчитайте энергию притяжения частиц кварца со средним радиусом  $r = 1 \cdot 10^{-8} \text{ м}$  в воде при расстоянии между ними  $h = 10 \text{ нм}$ , используя уравнение Гамакера

$$U_{\text{пр}} = - \frac{Ar}{12h},$$

Константу молекулярных сил  $A$  принять равной  $0,5 \cdot 10^{-20} \text{ Дж}$ .

- 8) Рассчитайте электрокинетический потенциал на границе керамический фильтр- водный раствор  $\text{KCl}$ , если при протекании раствора под давлением  $p = 3,1 \cdot 10^4 \text{ Па}$  потенциал течения составил  $U = 1,2 \cdot 10^{-2} \text{ В}$ . Свойства дисперсионной среды при 298К: удельная электропроводность  $\kappa = 0,141 \text{ См} \cdot \text{м}^{-1}$  (0,01 М раствор  $\text{KCl}$ ), вязкость  $\eta = 8,94 \cdot 10^{-4} \text{ Па} \cdot \text{с}$ , относительная диэлектрическая проницаемость  $\epsilon = 78,5$ .
- 9) Тема реферата: «Растворы высокомолекулярных соединений. Их классификация. Структура макромолекул ВМС. Свойства растворов ВМС». (объем реферата 5-10 листов формата А4, можно в рукописном варианте).

#### Вариант 5

- 1) Написать формулу мицеллы:  $\text{K}_2\text{SO}_4 + \text{BaCl}_2(\text{изб}) \rightarrow \text{BaSO}_4\downarrow + 2\text{KCl}$ . Приведите схему строения и дайте определение мицеллы
- 2) Понятие об адсорбции. Физическая и химическая адсорбции. Перечислите количественные характеристики адсорбции.
- 3) Схематически начертите кривую осаждения и кривую распределения полидисперсной системы. Дайте описание кривых.
- 4) Поглощение (абсорбция) света. Закон Бугера-Ламберта-Бера.
- 5) Какие структуры называют коагуляционными? Что такое тиксотропия и синерезис?
- 6) Вычислите удельную поверхность угольной пыли с диаметром частиц  $d = 8 \cdot 10^{-5} \text{ м}$ . Плотность угля  $\rho = 1,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ .
- 7) Рассчитайте  $\zeta$ -потенциал частиц полистирольного латекса: смещение цветной границы золя  $a$  при электрофорезе составляет  $2,5 \cdot 10^{-2} \text{ м}$  за время  $t$ , равное 60 мин. Напряжение, приложенное к концам электродов,  $E = 115 \text{ В}$ . Расстояние между электродами  $L = 0,55 \text{ м}$ . Диэлектрическую проницаемость среды принять равной 81. Вязкость среды  $\eta = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$ . Электрическая константа  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-2} \text{ Ф/м}$ .
- 8) Поток света с длиной волны  $\lambda = 528 \text{ нм}$ , проходя через эмульсию  $\text{CCl}_4$ , в воде толщиной слоя  $l = 5 \text{ см}$ , ослабляется в результате светорассеяния в два раза. Рассчитайте радиус частиц дисперсной фазы, если ее объемное содержание  $c_v = 0,8 \%$ , показатель преломления



$\text{CCl}_4$   $n_1=1,460$ , воды  $n_0=1,333$ . Свет рассеивается в соответствии с уравнением Рэлея и ослабляется по закону Бугера-Ламберта-Бэра.

9) Тема реферата: «Системы с газовой дисперсионной средой. Аэрозоли. Их классификация. Методы получения. Общая характеристика аэрозолей». (объем реферата 5-10 листов формата А4, можно в рукописном варианте).

#### Вариант 6

1) Написать формулу мицеллы:  $2\text{H}_2\text{S}(\text{изб}) + \text{SO}_2 \rightarrow 3\text{S} \downarrow + 2\text{H}_2\text{O}$ . Приведите схему строения и дайте определение мицеллы

2) Что такое седиментационная устойчивость коллоидных систем. В чем состоит явление седиментации. Метод седиментационного анализа.

3) Перечислите оптические методы исследования коллоидных растворов. Дайте краткую характеристику.

4) Перечислите молекулярно-кинетические свойства дисперсных систем.

5) Изложите основные теории адсорбции.

6) Определите вязкость глицерина, если он из вискозиметра вытекает через капилляр.

Радиус капилляра  $r=1 \cdot 10^{-3}$  м, длина капилляра  $l=6 \cdot 10^{-2}$  м. Скорость течения  $14 \cdot 10^{-10}$  м<sup>3</sup>/с под давлением  $P=200$  Па.

7) Рассчитайте молекулярную массу поливинилового спирта по данным вискозиметрии: характеристическая вязкость  $[\eta]=0,15$ . Константы уравнения Марка – Гувинка составляют  $K=4,53 \cdot 10^{-5}$ ;  $\alpha=0,74$ .

8) Рассчитайте толщину диффузного ионного слоя  $\lambda$  на поверхности частиц сульфата бария, находящихся в водном растворе NaCl концентрацией 25 мг/л. Относительная диэлектрическая проницаемость раствора при 288 К равна  $\epsilon=82,2$ .

9) Тема реферата: «Полиэлектролиты. Белки. Белки как ВМС. Применение полиэлектролитов.». (объем реферата 5-10 листов формата А4, можно в рукописном варианте).

#### Вариант 7

1) Написать формулу мицеллы:  $3\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6] (\text{изб}) + 4\text{FeCl}_3 \rightarrow \text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3 \downarrow + 12\text{KCl}$ . Приведите схему строения и дайте определение мицеллы.

2) Как выглядит изотерма поверхностного натяжения для ПАВ, ПИАВ и ПНАВ?

3) Перечислите молекулярно-кинетические свойства дисперсных систем. Дайте краткое описание каждого.

4) Какие типы структур характерны для дисперсных систем.

5) В чем заключается количественный дисперсионный анализ? Перечислите методы количественного анализа. Метод ситового анализа.

6) Определите поверхностную активность масляной кислоты на границе раствор – воздух при 283 К по следующим данным:

$C$ , кмоль/м <sup>3</sup> .....	0,00	0,02	0,05	0,10	0,50
$\sigma \cdot 10^{-3}$ , Дж/м <sup>2</sup> ....	74	69	64	60	44

7) Вычислите удельную поверхность угольной пыли с диаметром частиц  $d=8 \cdot 10^{-5}$  м. Плотность угля  $\rho=1,8 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

8) При изучении структурно-механических свойств графитовых паст глубина погружения конуса пластометра Ребиндера составляла  $h=2$  мм при нагрузке  $F=3$  Н. Константа конуса  $K_L=0,4$ . Рассчитайте предельное напряжение сдвига графитовой пасты.

9) Тема реферата: «Системы с газовой дисперсионной средой. Аэрозоли. Механика аэрозолей. Методы разрушения. Применение». (объем реферата 5-10 листов формата А4, можно в рукописном варианте).

### Вариант 8

- 1) Написать формулу мицеллы:  $K_2SO_4(изб) + BaCl_2 \rightarrow BaSO_4 \downarrow + 2KCl$ . Приведите схему строения и дайте определение мицеллы
- 2) Зависимость поверхностного натяжения от концентрации раствора и от температуры.
- 3) Поверхностно-инактивные вещества (ПИАВ). Условия для ПИАВ и приведите примеры ПИАВ.
- 4) Седиментация. Седиментационная (кинетическая) устойчивость. Поток диффузии и поток седиментации.
- 5) Приведите классификацию дисперсных систем по общему признаку.
- 6) Определите вязкость глицерина, если он из вискозиметра вытекает через капилляр. Радиус капилляра  $r = 1 \cdot 10^{-3}$  м, длина капилляра  $l = 6 \cdot 10^{-2}$  м. Скорость течения  $14 \cdot 10^{-10} \text{ м}^3/\text{с}$  под давлением  $P = 200$  Па.
- 7) Рассчитайте молекулярную массу поливинилового спирта по данным вискозиметрии: характеристическая вязкость  $[\eta] = 0,15$ . Константы уравнения Марка – Гувинка составляют  $K = 4,53 \cdot 10^{-5}$ ;  $\alpha = 0,74$ .
- 8) Частицы бентонита дисперсностью  $D = 0,8 \text{ мкм}^{-1}$  оседают в водной среде под действием силы тяжести. Определите время оседания  $\tau_1$  на расстояние  $h = 0,1$  м, если плотность бентонита  $\rho = 2,1 \text{ г/см}^3$ , плотность среды  $\rho_0 = 1,1 \text{ г/см}^3$ , вязкость среды  $\eta = 2 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$ . Во сколько раз быстрее осадут частицы на то же расстояние в центробежном поле, если начальное расстояние от оси вращения  $x_0 = 0,15$  м, а скорость вращения центрифуги  $n = 600$  об/с.
- 9) Тема реферата: «Системы с газовой дисперсионной средой. Аэрозоли. Механика аэрозолей. Методы разрушения. Применение». (объем реферата 5-10 листов формата А4, можно в рукописном варианте).

### Вариант 9

- 1) Написать формулу мицеллы:  $BaCl_2(изб) + Na_2SO_4 \rightarrow BaSO_4 \downarrow + 2NaCl$ . Приведите схему строения и дайте определение мицеллы.
- 2) Классификация дисперсных систем по общему и частному признаку.
- 3) Поверхностное натяжение. Размерность. Экспериментальные методы определения поверхностного натяжения.
- 4) Перечислите оптические свойства коллоидных систем.
- 5) Каким законам подчиняются свободнодисперсные (бесструктурные) системы? Напишите уравнения Ньютона, Пуазейля и Эйнштейна.
- 6) Определите поверхностное натяжение жидкости, если в капилляре с диаметром  $d = 1 \cdot 10^{-3}$  м она поднимается на высоту  $h = 32,6 \cdot 10^{-3}$  м. Плотность жидкости  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ . Краевой угол смачивания  $\Theta = 0^\circ$ .
- 7) Проверьте применимость теории быстрой коагуляции (теории Смолуховского) к кинетике процесса коагуляции гидрозоля золота. Начальная численная концентрация золя  $v_0 = 20 \cdot 10^{14} \text{ частиц/м}^3$ ;  $t$  – время от начала коагуляции. Определите графически время половинной коагуляции золя  $\Theta$ , если  $T = 300 \text{ К}$ . Данные по кинетике коагуляции следующие:

$t, \text{ с} \dots\dots\dots$	0	30	60	120	480
$v \cdot 10^{-14}, \text{ частиц/м}^3 \dots$	20,0	14,7	10,8	8,25	3,00

- 8) Рассчитайте толщину диффузного ионного слоя  $\lambda$  на поверхности частиц сульфата бария, находящихся в водном растворе  $NaCl$  концентрацией  $25 \text{ мг/л}$ . Относительная диэлектрическая проницаемость раствора при  $288 \text{ К}$  равна  $\epsilon = 82,2$ .
- 9) Тема реферата: «Системы с жидкой и твердой дисперсной фазой. Суспензии. Классификация. Методы получения. Свойства разбавленных суспензий». (объем реферата 5-10 листов формата А4, можно в рукописном варианте).

### Вариант 10

- 1) Написать формулу мицеллы:  $3K_4[Fe(CN)_6] + 4FeCl_3 \text{ (изб)} \rightarrow Fe_4[Fe(CN)_6]_3 \downarrow + 12KCl$ . Приведите схему строения и дайте определение мицеллы.
- 2) Перечислите основные теории адсорбции. Дайте описание теории полимолекулярной адсорбции Поляни.
- 3) Структурно-механические свойства дисперсных систем. Типы структур.
- 4) Какие пути образования двойного электрического слоя вы знаете? Перечислить. Приведите современную теорию строения ДЭС.
- 5) Перечислите электро- кинетические свойства дисперсных систем. Дайте краткое описание каждого.
- 6) Рассчитайте энергию притяжения частиц кварца со средним радиусом  $r=1 \cdot 10^{-8}$  м в воде при расстоянии между ними  $h=10$  нм, используя уравнение Гамакера  
$$U_{пр} = - \frac{Ar}{12h},$$
 Константу молекулярных сил  $A$  принять равной  $0,5 \cdot 10^{-20}$  Дж.
- 7) Рассчитайте размер частиц диоксида кремния, если известно, что время их оседания  $t$  на расстояние  $h=10^{-2}$  м составляет 60 мин. Плотности дисперсной фазы  $\rho = 2,7 \cdot 10^3$  и дисперсной среды  $\rho_0 = 1 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость среды  $\eta = 1,5 \cdot 10^{-3}$  Па·с.
- 8) Рассчитайте осмотическое давление 30%-ного (масс.) гидрозоля  $SiO_2$  при 293 К, если удельная поверхность частиц  $s_{уд} = 2,7 \cdot 10^5$  м<sup>2</sup>/кг. плотность частиц гидрозоля  $\rho = 2,2$  г/см<sup>3</sup>, плотность среды  $\rho_0 = 1,15$  г/см<sup>3</sup>.
- 9) Тема реферата: «Сыпучие материалы. Порошки. Свойства порошков. Устойчивость. Практическое применение». (объем реферата 5-10 листов формата А4, можно в рукописном варианте).

### *Критерии оценки контрольной работы:*

Учебным планом для заочной формы обучения предусмотрена одна контрольная работа. Максимальное количество баллов за правильно выполненную контрольную работу – 25 баллов, минимальное количество баллов – 15 баллов.