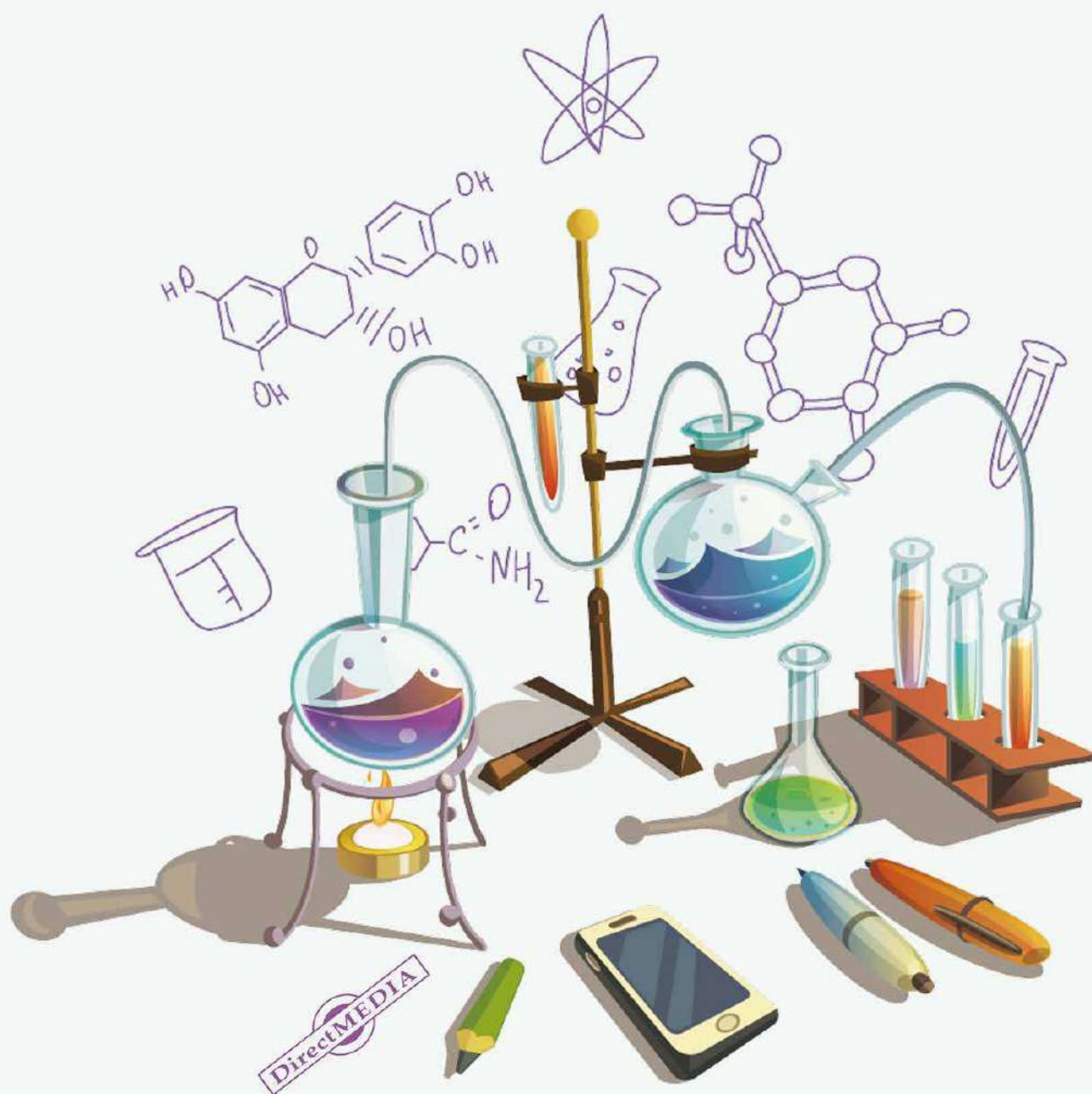


М. Б. Никишина, Е. В. Иванова, Ю. М. Атрощенко

СБОРНИК ЗАДАНИЙ ПО КОЛЛОИДНОЙ ХИМИИ



СБОРНИК ЗАДАНИЙ ПО КОЛЛОИДНОЙ ХИМИИ

Учебно-методическое пособие



**Москва
Берлин
2021**

УДК 378.147.88:542,06/66.01
ББК 35,11и73
С23

Рецензент:

доцент кафедры химия ТГПУ им. Л. Н. Толстого, канд. хим. наук *Валуева Т. Н.*

Составители:

М. Б. Никишина, Е. В. Иванова, Ю. М. Атрощенко

Сборник заданий по коллоидной химии : учебно-методическое пособие /
С23 М. Б. Никишина, Е. В. Иванова, Ю. М. Атрощенко, сост. — Москва ;
Берлин : Директ-Медиа, 2021. — 112 с.

ISBN 978-5-4499-2593-0

Данное учебно-методическое пособие является руководством для аудиторной работы студентов, изучающих коллоидную химию. Руководство включает основные теоретические разделы коллоидной химии, задачи для аудиторной и самостоятельной работы, контрольные вопросы, тесты, а также методики выполнения лабораторных работ. В конце пособия помещено задание для индивидуальной расчетно-графической работы и предложена подробная методика ее выполнения.

Пособие рекомендовано для студентов, обучающихся по направлению «Химия».

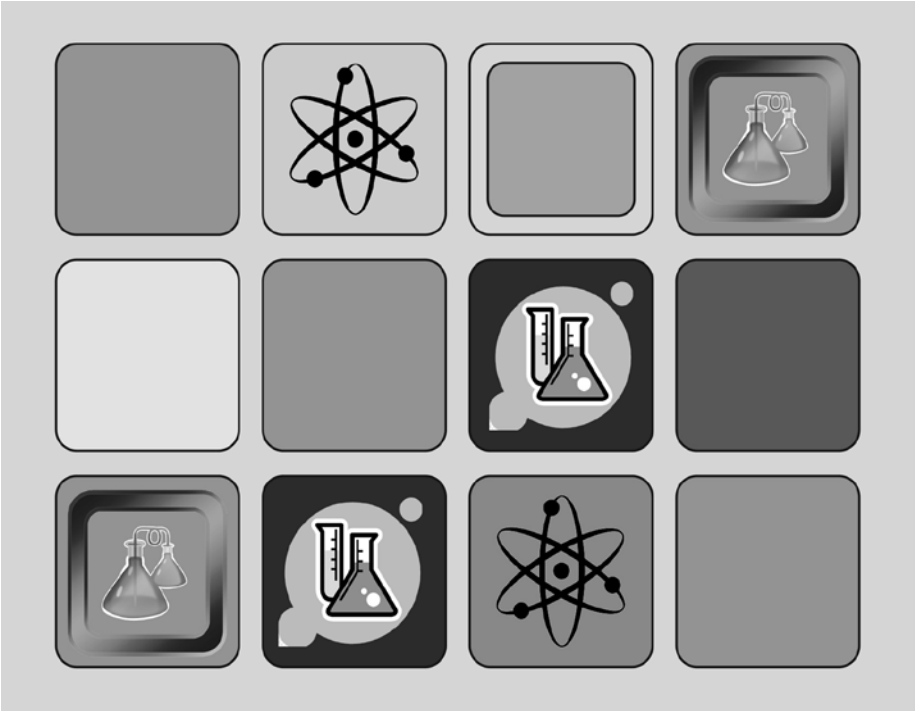
УДК 378.147.88:542,06/66.01
ББК 35,11и73

ISBN 978-5-4499-2593-0

© Никишина М. Б., Иванова Е. В., Атрощенко Ю. М., текст, 2021
© Издательство «Директ-Медиа», оформление, 2021

СОДЕРЖАНИЕ

ПРОГРАММА КУРСА КОЛЛОИДНОЙ ХИМИИ.....	4
ВОПРОСЫ К ЗАЧЕТУ	9
ЗАНЯТИЕ № 1. Способы выражения концентрации дисперсных систем. Определение размера частиц и удельной поверхности	13
ЗАНЯТИЕ № 2. Поверхностное натяжение. Адсорбция.....	18
ЗАНЯТИЕ № 3. Оптические свойства дисперсных систем	24
ЗАНЯТИЕ № 4. Кинетические свойства дисперсных систем	28
ЗАНЯТИЕ № 5. Электрокинетические свойства дисперсных систем	33
ЗАНЯТИЕ № 6 Коагуляция гидрозолей. Строение мицеллы.....	39
ЗАНЯТИЕ № 7. Структурно-механические свойства дисперсных систем.....	43
КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ. ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ	49
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ	73
ЗАДАНИЕ К ИНДИВИДУАЛЬНОЙ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЕ.....	97
МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ.....	100
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	110



ПРОГРАММА КУРСА КОЛЛОИДНОЙ ХИМИИ

1. Введение

Коллоидное состояние вещества. Гетерогенность и дисперсность как основные признаки объектов коллоидной химии.

Общие свойства коллоидных (дисперсных) систем. Классификация коллоидных систем: по дисперсности, по агрегатному состоянию, по характеру межфазного взаимодействия. Свободно-дисперсные и связнодисперсные коллоидные системы. Верхний и нижний предел дисперсности. Грубодисперсные и высокодисперсные системы. Мера дисперсности; удельная поверхность, дисперсность. Изменение удельной поверхности и поверхностной энергии с ростом дисперсности.

Классификация дисперсных веществ по агрегатному состоянию дисперсной фазы и дисперсионной среды: золи, суспензии, эмульсии, пены, твердые коллоидные растворы, пористые тела, гели, аэрозоли.

Лиофильные и лиофобные дисперсные системы. Молекулярные коллоиды. Общие свойства растворов ВМС и коллоидных растворов.

2. Молекулярно-кинетические свойства дисперсных систем

Броуновское движение. Теория броуновского движения Эйнштейна и Смолуховского. Среднее смещение (сдвиг). Диффузия. Законы Фика. Связь между средним сдвигом и коэффициентом диффузии. Уравнение Эйнштейна — Смолуховского. Зависимость диффузии от температуры, вязкости среды и размера коллоидных частиц.

Осмотические свойства дисперсных систем. Понятие «концентрация» в коллоидных растворах. Частичная и частичная концентрации. Зависимость осмотического давления от концентрации и размера частиц. Седиментационно-диффузионное равновесие. Уравнение Лапласа — Перрена. Расчет числа Авогадро. Седиментация. Закономерности седиментации в гравитационном и центробежных полях. Седиментационный анализ полидисперсных систем.

3. Оптические свойства дисперсных систем

Особенности оптических свойств дисперсных систем. Светорассеивание, эффект Тиндаля. Закон светорассеивания Рэлея. Зависимость светорассеивания от длины волны света, концентрации, размера частиц, коэффициентов преломления дисперсной фазы и дисперсионной среды. Поглощение света. Закон Бугера — Ламберта — Бера. Оптические методы исследования дисперсных систем. Нефелометрия. Турбодиметрия. Определение размера частиц и концентрации методами нефелометрии и турбодиметрии. Ультрамикроскопия. Опти-

ческий объем. Расчет размера частиц. Разрешающая способность ультрамикроскопа. Электронная микроскопия.

4. Поверхностные явления в коллоидной химии

Термодинамика поверхностного слоя. Поверхностное натяжение. Метод избыточных величин Гиббса и метод «слоя конечной толщины». Зависимость энергетических параметров поверхности от температуры.

Поверхностные явления на границе раздела твердое тело — газ. Адсорбция, адсорбенты и адсорбаты. Физическая и химическая адсорбция. Изотермы адсорбции. Мономолекулярная адсорбция. Изотерма адсорбции Лэнгмюра. Теория полимолекулярной адсорбции БЭТ. Адсорбция на неоднородных поверхностях. Адсорбционный коэффициент. Энергетические параметры адсорбции.

Поверхностные явления на границе раздела раствор — газ. Фундаментальное адсорбционное уравнение Гиббса. Зависимость поверхностного натяжения от концентрации раствора. Поверхностная активность. Поверхностно-активные (ПАВ) и поверхностно-инактивные вещества. Дифильное строение молекул ПАВ. Влияние строения и размера молекул ПАВ на их адсорбцию. Правило Дюкло — Траубе. Ориентация молекул адсорбата в поверхностном слое. Экспериментальное уравнение Шишковского, его связь с теоретическими уравнениями адсорбции Гиббса и Лэнгмюра. Зависимость поверхностного натяжения от концентрации ПАВ. Уравнения состояния поверхностных пленок. Типы поверхностных пленок.

Поверхностные явления на границе раздела твердое тело — раствор. Молекулярная адсорбция (адсорбция неэлектролитов). Обменная молекулярная адсорбция из бинарных растворов. Влияние природы среды (растворителя) на адсорбцию. Правило уравнивания полярностей Ребиндера. Ориентация дифильных молекул на границе раздела фаз различной природы. Влияние свойств адсорбента на адсорбцию из растворов.

5. Получение дисперсных систем

Диспергирование и конденсация как методы получения дисперсных систем. Получение дисперсных систем методом диспергирования. Механическое измельчение, коллоидные мельницы. Ультразвуковые и электрические методы измельчения. Диспергирование в присутствии ПАВ, эффект Ребиндера.

Конденсационные методы синтеза. Физическая конденсация, конденсация из паров и из расплавов. Физические основы конденсационного метода. Перенасыщение и переохлаждение. Гомогенное образование и рост зародышей.

Термодинамика и кинетика образования новой фазы. Регулирование дисперсности.

Химическая конденсация. Получение свободнодисперсных систем с помощью реакций обмена, гидролиза и окислительно-восстановительных реакций. Очистка коллоидных систем. Диализ и электродиализ.

6. Электрические свойства дисперсных систем

Возникновение зарядов на коллоидных частицах при поверхностной ионизации и адсорбции. Двойной электрический слой (ДЭС). Потенциалоопределяющие ионы и противоионы. Строение ДЭС. Теории Гельмгольца, Гуи-Чепмена, Штерна. Диффузный и адсорбционный слои. Плоскость скольжения, электрокинетический потенциал. Зависимость толщины ДЭС от валентности, поляризуемости и гидратации ионов. Строение мицелл (частица, ядро, агрегат).

Электрокинетические явления. Электроосмос, электрофорез, потенциал течения и потенциал седиментации. Связь электрокинетических явлений со строением ДЭС. Уравнение Гельмгольца — Смолуховского. Электрокинетический потенциал (дзета-потенциал). Влияние индифферентных и неиндифферентных электролитов на электрокинетический потенциал. Влияние концентрации и температуры на электрокинетический потенциал. Перезарядка коллоидных частиц при введении чужеродного многозарядного иона и неиндифферентного электролита.

7. Устойчивость и коагуляция дисперсных систем

Седиментационная и агрегативная устойчивость. Коагуляция. Кинетика быстрой и медленной коагуляции. Электростатический и адсорбционно-сольватный факторы стабилизации дисперсных систем. Коагуляция под действием электролитов. Порог коагуляции. Правило Шульца — Гарди. Теория устойчивости лиофобных дисперсных систем (теория ДЛФО). Положительное и отрицательное расклинивающие давления по Дерягину. Электростатические и молекулярные силы взаимодействия между коллоидными частицами. Общее уравнение теории ДЛФО. Потенциальные кривые, характеризующие агрегативную устойчивость.

8. Лиофильные коллоидные системы

Условия образования и термодинамической устойчивости лиофильных коллоидных систем. Критерий Ребиндера — Щукина. Критические эмульсии. Мицеллообразование в растворах ПАВ. Термодинамика и механизм мицеллообразования. Строение мицелл ПАВ. Солюбилизация. Критическая концентрация

мицеллообразования (ККМ). Методы определения ККМ. Растворы высокомолекулярных соединений (ВМС). Строение макромолекул. Термодинамические свойства ВМС. Агрегатные состояния. Взаимодействие ВМС с растворителем. Уравнение состояния растворов ВМС. Набухание и растворение ВМС. Осмотическое давление, диффузия, оптические свойства, вязкость растворов ВМС.

10. Структурно-механические свойства дисперсных систем

Классификация дисперсных систем по структурно-механическим свойствам. Структурообразование в дисперсных системах, коагуляционные и конденсационно-кристаллизационные структуры. Реологические свойства дисперсных систем. Вязкость жидких дисперсных систем. Законы Ньютона и Пуазейля. Нормальная и аномальная вязкость. Реологические свойства структурированных жидкообразных и твердообразных систем. Тиксотропия. Синерезис. Факторы, определяющие прочность структур. Композиционные материалы.

ВОПРОСЫ К ЗАЧЕТУ

1. Предмет и задачи коллоидной химии. Общая характеристика дисперсных систем.
2. Роль коллоидно-химических процессов в биологии и химической технологии.
3. Зарождение коллоидной химии: Древний Египет, Греция, Рим; период алхимии; работы М.В. Ломоносова, В. Сельми, М. Фарадея, Ф. Рейса, Дж. Тиндаля.
4. Становление коллоидной химии как самостоятельной науки: труды Т. Грэма, И.Г. Борщова, Д.И. Менделеева.
5. Развитие современной коллоидной химии: М.С. Цвет, Н.П. Песков, А.В. Думанский, А. Эйнштейн, М. Смолуховский.
6. Классификация дисперсных систем по степени дисперсности.
7. Грубодисперсные и коллоидные системы, истинные растворы; ультрадисперсные системы (наносистемы), высокодисперсные системы; суспензии.
8. Классификация в зависимости от фракционного состава частиц дисперсной фазы. Классификация по взаимодействию дисперсной фазы и дисперсионной среды (по межфазному взаимодействию): лиофобные и лиофильные системы. Классификация по межчастичному взаимодействию: свободнодисперсные (бесструктурные) и связнодисперсные (структурированные) системы. Классификация дисперсных систем по агрегатным состояниям дисперсной фазы и дисперсионной среды. Леофильные и лиофобные (ВМС) растворы. Связно- и свободнодисперсные системы.
9. Рассеяние света дисперсными системами (опалесценция).
10. Эффект Тиндаля-Фарадея.
11. Уравнение Релея. Абсорбция света.
12. Уравнение Бугера-Ламберта-Бера применительно к коллоидным растворам.
13. Окраска коллоидных растворов.
14. Оптические методы исследования коллоидных систем: нефелометрия, ультрамикроскопия, электронная микроскопия.
15. Броуновское движение: история открытия, количественная теория броуновского движения А. Эйнштейна, коэффициент диффузии, работы Ж. Перрена.
16. Диффузия в коллоидных растворах и величина сдвига.
17. Кинетическая (седиментационная) устойчивость дисперсных систем и седиментационное равновесие.
18. Методы седиментационного анализа.

19. Осмотическое давление.
20. Использование измерения осмотического давления для определения величины частиц высокомолекулярных соединений.
21. Ультрацентрифуга и ее применение в дисперсионном анализе.
22. Электрокинетические явления в дисперсных системах. Опыты Ф.Ф. Рейсса.
23. Происхождение заряда коллоидных частиц.
24. Строение двойного электрического слоя. Модель Гельмгольца-Перрена, модель Гуи-Чемпена, модель Штерна. Дзета-потенциал (или электрокинетический потенциал).
25. Строение коллоидных частиц. Понятия ядра, гранулы, мицеллы, противоионов. Электрофоретическая скорость.
26. Термодинамический аспект устойчивости дисперсных систем.
27. Седиментационная неустойчивость.
28. Коагуляция коллоидных растворов. Формы коагуляции, воздействия, вызывающие коагуляцию зольей.
29. Энергия взаимодействия при сближении мицелл.
30. Сольватация и структурно-механический фактор устойчивости коллоидных растворов.
31. Влияние электролитов на коагуляцию. Правила Шульце-Гарди.
32. Теория ДЛФО.
33. Уравнение для расчета порога коагуляции.
34. Концентрационная и нейтрализационная коагуляция электролитами.
35. Влияние температуры и глубокого диализа на коагуляцию.
36. Коагуляция коллоидов коллоидами.
37. Коагуляция под действием физических факторов (температура, электрическое поле, концентрирование, механическое воздействие).
38. Кинетика коагуляции.
39. Защита коллоидов растворами ВМС.
40. Общие сведения о поверхностных явлениях.
41. Молекулярные взаимодействия и особые свойства поверхностей раздела фаз.
42. Свободная энергия поверхности. Поверхностное натяжение.
43. Факторы, влияющие на поверхностное натяжение жидкостей. Молекулярная природа поверхностного натяжения жидкостей.
44. Методы определения поверхностного натяжения.
45. Понятие о поверхностно-активных веществах.
46. Уравнение Гиббса.

47. Свойства поверхностных пленок.
48. Ориентация молекул на поверхности раздела фаз.
49. Виды жидких пленок в зависимости от типа дисперсионной среды.
50. Виды жидких пленок в зависимости от толщины пленки и толщины поверхностного слоя.
51. Расклинивающее давление.
52. Адсорбция: общие представления и закономерности.
53. Природа адсорбционных сил.
54. Тепловой эффект адсорбции, интегральная и дифференциальная теплота адсорбции.
55. Адсорбция на границе твердое тело-газ. Динамический характер адсорбционного равновесия.
56. Уравнение Фрейндлиха.
57. Теория мономолекулярной адсорбции Ленгмюра, полимолекулярной адсорбции Поляни и БЭТ, объемного заполнения Дубинина.
58. Капиллярная конденсация.
59. Адсорбция на границе твердое тело-жидкость.
60. Молекулярная адсорбция из растворов, влияние природы среды, свойств адсорбента и адсорбтива.
61. Ионная и обменная адсорбция. Иониты и их применение.
62. Явление смачивания. Краевой угол смачивания.
63. Понятие адгезии, адгезива и субстрата.
64. Виды адгезии в зависимости от свойств адгезива.
65. Особенности адгезии на границе адгезив/субстрат разного агрегатного состояния. Аутогезия. Когезия.
66. Роль адгезии в технологических процессах, промышленном и сельском хозяйстве, медицине.
67. Термодинамические основы адгезии. Работа адгезии. Уравнение Дюпре.
68. Молекулярная (адсорбционная), электрическая и диффузионная теории адгезионной прочности.
69. Явление сверхнизкого трения.
70. Общие сведения о ВМС. Защитное действие ВМС.
71. Строение макромолекул ВМС, их свойства. Агрегативные состояния ВМС.
72. Характеристика растворов ВМС в связи с их строением и проблемой устойчивости.
73. Растворы высокомолекулярных электролитов. Белки как полиэлектролиты. Изоэлектрическая точка.

74. Набухание. Избирательный характер набухания. Ограниченное и неограниченное набухание. Теплота набухания. Давление набухания. Кинетика набухания.

75. Мыла.

76. Адсорбционные красители.

77. Твердые золи. Стекла, эмаль, сплавы.

78. Суспензии: устойчивость и стабилизация.

79. Эмульсии: классификация эмульсий, устойчивость разбавленных и концентрированных эмульсий.

80. Эмульгаторы, механизм стабилизации эмульгаторами. Методы получения и разрушения эмульсий.

81. Обращение эмульсий.

82. Практическое значение эмульсий и эмульгирования.

83. Жидкие пены. Методы получения и разрушения пен.

84. Практическое значение пен.

85. Пенная флотация.

86. Твердые пены. Пенобетон, пеностекло, пенопласт.

87. Аэрозоли: общая характеристика. Туманы, дым и пыль.

88. Методы получения аэрозолей.

89. Практическое значение аэрозолей.

90. Проблемы защиты атмосферы от загрязнения аэрозолями.

ЗАНЯТИЕ № 1

Способы выражения концентрации дисперсных систем. Определение размера частиц и удельной поверхности

Коллоидными системами называют сложные многокомпонентные системы — золи, суспензии, эмульсии, аэрозоли, — обладающие общими характерными признаками: гетерогенностью, определенной дисперсностью (порядок среднего радиуса частиц колеблется в пределах 10^{-9} — 10^{-5} м) и агрегативной неустойчивостью без стабилизатора.

Коллоидные системы состоят из дисперсной фазы и дисперсионной среды. Основными свойствами дисперсной фазы является дисперсность, а дисперсионной среды - непрерывность.

ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСПЕРСНОЙ ФАЗЫ.

Для оценки межфазовой границы поверхность раздела фаз ***B*** относят к единице массы дисперсной фазы ***m***:

$$B_{\text{уд.}} = B/m, \text{ м}^2/\text{кг}. \quad (1.1)$$

Величина $B_{\text{уд.}}$ характеризует удельную поверхность раздела фаз и позволяет количественно определять фактическую границу между дисперсной фазой и дисперсионной средой. Для частиц одного и того же размера удельная поверхность равна поверхности одной частицы B_1 умноженной на число частиц в 1 кг дисперсной фазы n , т.е.

$$B_{\text{уд.}} = B_1 n \quad (1.2)$$

Число, сферических частиц в 1 кг дисперсной фазы

$$n = (4\pi r \rho / 3)^{-1}, \quad (1.3)$$

где ρ — плотность вещества дисперсной фазы, $\text{кг}/\text{м}^3$; r — радиус частиц, м.

Учитывая, что поверхность сферических частиц равна $4\pi r^2$, из формул (1.2) и (1.3) получим

$$B = 3/(r\rho), \text{ или } B = 6/(d\rho), \quad (1.4)$$

где d — диаметр частиц, м.

Аналогичным образом можно выразить удельную поверхность для других частиц правильной формы (кубических, цилиндрических и др.).

Удельная поверхность, определяемая уравнениями (1.1) и (1.4), равна поверхности всех частиц, содержащихся в 1 кг дисперсной фазы и имеет размерность $\text{м}^2/\text{кг}$.

Иногда удельную поверхность выражают путем отношения поверхности частиц к суммарному объему этих частиц, т.е.

$$B_{\text{уд.}} = B/V. \quad (1.5)$$

Удельная поверхность в соответствии с формулой (1.5) равна поверхности всех частиц (м^2), содержащихся в 1 м^3 дисперсной фазы и измеряется в м^{-1} . Определение удельной поверхности в обратных единицах длины связано с таким понятием, как дисперсность D , т.е. с величиной, обратной размеру частиц a :

$$D = 1/a. \quad (1.6)$$

Для сферических частиц величина a равна диаметру этих частиц. Дисперсность, как и удельная поверхность [(см. формулу 1.4)], обратно пропорциональна размеру частиц. Удельную поверхность в $\text{м}^2/\text{кг}$ можно выразить через дисперсность следующим образом:

$$B_{\text{уд}} = 6D/\rho. \quad (1.7)$$

Удельная поверхность определяет влияние размеров частиц на поверхностные явления.

Величину дисперсности частиц дисперсной фазы может характеризовать как трехмерные размеры, так и двухмерные и одномерные параметры.

Для трехмерных частиц (капли, пузырьки) характерные размеры и дисперсность частиц определяют в трех взаимно перпендикулярных направлениях. Для двухмерных частиц (нити, волокна, капилляры, поры) дисперсность характеризуют двумя размерами, которые определяют в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Для одномерных дисперсных фаз (мембраны, пленки) только один размер a определяет дисперсность — это толщина мембраны или пленки, а два других размера характеризуют габаритные размеры самого тела.

В соответствии с формулой (1.1) удельную поверхность двухмерной дисперсной фазы в виде цилиндров равного диаметра можно выразить следующим образом:

$$B_{\text{уд}} = B/m = \frac{\pi a L}{\pi (a/2)^2 L \rho} = \frac{4}{a \rho}, \quad \text{м}^2/\text{кг}, \quad (1.8)$$

где B , m — соответственно площадь поверхности и масса дисперсной фазы; a , L — диаметр и высота цилиндра, ρ — плотность вещества дисперсной фазы.

Удельная поверхность одномерной дисперсной фазы в виде пленки одинаковой толщины равна:

$$B_{\text{уд}} = B/m = \frac{LI}{L \rho I a} = \frac{1}{a \rho}, \quad \text{м}^2/\text{кг}, \quad (1.9)$$

где L , I , a — размеры пленки, м.

Согласно формулам (1.8) и (1.9) удельная поверхность двухмерных и трехмерных дисперсных систем, как и одномерных, определяется лишь размером, характеризующим дисперсность.

Свойства дисперсных систем в значительной степени определяются концентрацией и диапазоном размеров частиц дисперсной фазы. Остановимся на характеристике трехмерной дисперсной фазы. Различают численную $v_{\text{ч}}$ объемную $v_{\text{об}}$ и массовую $v_{\text{м}}$ концентрации дисперсной фазы.

Численная (иногда ее называют счетной или частичной) концентрация определяется числом частиц N дисперсной фазы в единице объема $V_{\text{д.с.}}$ дисперсной системы. Она показывает число частиц в 1 м^3 раствора:

$$v_{\text{ч}} = N/V_{\text{д.с.}}, \text{ м}^{-3} \quad (1.10)$$

Массовая концентрация характеризует массу дисперсной фазы m , в единице объема дисперсной системы:

$$v_{\text{м}} = m_{\text{д.ф.}}/V_{\text{д.с.}}, \text{ кг/м}^{-3} \quad (1.11)$$

Объемная концентрация — величина безразмерная, она показывает, какая часть объема дисперсной системы $V_{\text{д.с.}}$ занимает объем дисперсной фазы $V_{\text{д.ф.}}$.

$$v_{\text{о.б.}} = V_{\text{д.ф.}}/V_{\text{д.с.}}, \text{ или } v_{\text{о.б.}} = (V_{\text{д.ф.}}/V_{\text{д.с.}}) \cdot 100\%. \quad (1.12)$$

В зависимости от условий и свойств дисперсных систем для выражения концентрации дисперсной фазы используют различные величины.

Задачи:

1. В соусах диаметр капель эмульсии масла зависит от способа приготовления и при ручном взбалтывании составляет 20 мкм, а при машинном перемешивании — 4 мкм. Определите дисперсность, удельную поверхность дисперсной фазы, а также отношение этих величин, если плотность масла равна $1,1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

2. На пакетах молока указано, что содержание жира составляет 3,2%. Определите объем дисперсной фазы в упаковке вместимостью 1 л и численную концентрацию дисперсной фазы, если диаметр жировых капель равен 85 мкм.

3. Массовая концентрация пыли в воздухе рабочих зон помещений составляет $4,2 \text{ мг/м}^3$. Определите численную концентрацию пыли, если средний диаметр частиц составляет 3,7 мкм, а их плотность $1,1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

4. Рассчитайте удельную поверхность одномерной, двухмерной и трехмерной дисперсной фазы, если диаметр частиц и цилиндра, а так же толщина пленки составляет 10 мкм, а плотность вещества дисперсной фазы — $1,5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

5. Вычислите удельную поверхность золя сернистого мышьяка, средний диаметр частиц которого равен $120 \cdot 10^{-9}$ м, а плотность $\rho = 3,43 \cdot 10^3$ кг/м³ (ответ дать в м⁻¹ и м²/кг).

6. Определите величину удельной поверхности суспензии каолина (плотность которого $\rho = 2,5 \cdot 10^3$ кг/м³), если ее частицы принять шарообразными и средний диаметр частиц считать равным $0,5 \cdot 10^{-6}$ м? Суспензию считать монодисперсной.

7. Найдите удельную поверхность угля, применяемого в современных топках для пылевидного топлива, если известно, что угольная пыль предварительно просеивается через сита с отверстиями в $0,075 \cdot 10^{-3}$ м. Плотность угля $\rho = 1,8$ кг/м³. Систему считать монодисперсной.

8. Вычислите удельную поверхность 1 кг угольной пыли с диаметром частиц, равным $0,08 \cdot 10^{-3}$ м. Плотность угля $\rho = 1,8$ кг/м³.

9. Дисперсность частиц коллоидного золота равна 10^8 м⁻¹. Принимая частицы золота в виде кубиков, определите, какую поверхность $V_{\text{общ.}}$ они могут покрыть, если их плотно уложить в один слой. Масса коллоидных частиц золота 1 г. Плотность золота равна $19,6 \cdot 10^3$ кг/м³. Какой длины (L) будет нить, если кубики золота расположить друг за другом.

10. Методом механического диспергирования 5 г толуола в 1 л воды получена дисперсная система с частицами толуола шарообразной формы с радиусом $2,5 \cdot 10^{-7}$ м. Плотность толуола равна $0,867$ г/см³. Рассчитайте число частиц N в дисперсной системе. Определите общую и удельную площадь поверхности частиц толуола.

Задачи для самостоятельной работы:

11. Суспензия кварца содержит сферические частицы, причем 30 % объема приходится на частицы, имеющие радиус $1 \cdot 10^{-5}$ м, а объем остальных – на частицы радиуса $5 \cdot 10^{-5}$ м. Какова удельная поверхность кварца?

12. Приняв, что в золе серебра каждая частица представляет собой куб с длиной ребра $l = 4 \cdot 10^{-8}$ м, определите, сколько коллоидных частиц может получиться из $1 \cdot 10^{-4}$ кг серебра. Вычислите суммарную поверхность полученных

частиц и рассчитайте поверхность одного кубика серебра с массой $1 \cdot 10^{-4}$ кг. Плотность серебра равна $10,5 \cdot 10^3$ кг/м³.

13. Золь ртути состоит из шариков диаметром $1 \cdot 10^{-8}$ м. Чему равна суммарная поверхность частиц золя, образующихся из 1 г ртути? Плотность ртути равна $13,56 \cdot 10^3$ кг/м³.

14. Удельная поверхность суспензии селена составляет $5 \cdot 10^5$ м⁻¹. Найдите общую поверхность частиц 3 г суспензии. Плотность селена равна $4,28 \cdot 10^3$ кг/м³.

15. Рассчитайте удельную объемную и удельную массовую поверхность 5 г эмульсии бензола в воде дисперсностью $D = 2$ мкм⁻¹ при температуре 313 К. Плотность бензола при этой температуре равна $0,858$ г/см³.

Вопросы для самоконтроля:

1. Укажите основные требования, предъявляемые к дисперсной среде и дисперсной фазе.
2. В каких пределах колеблются размеры частиц дисперсной фазы?
3. Что такое удельная поверхность дисперсной фазы и для чего используется эта величина?
4. Какие существуют способы определения удельной поверхности дисперсной фазы?
5. Для каких дисперсных систем используют определение удельной поверхности как отношение общей площади поверхности дисперсной фазы к массе всей дисперсной системы?
6. Для каких дисперсных систем используют определение удельной поверхности как отношение общей площади поверхности дисперсной фазы к объему всей дисперсной системы?
7. Для каких дисперсных систем используют определение удельной поверхности как произведение площади поверхности одной частицы дисперсной фазы к общему количеству частиц всей дисперсной системы?
8. Что такое дисперсность дисперсной фазы и для чего используется эта величины?
9. Как можно определить величину дисперсности для частиц различной формы?
10. Как определяют дисперсность трехмерных, двумерных и одномерных дисперсных систем?

ЗАНЯТИЕ № 2

Поверхностное натяжение. Адсорбция

Поверхностный, межфазный слой представляет собой область постепенного (плавного) изменения свойств при переходе от одной фазы системы к другой. Также постепенно меняется структура поверхностного слоя — от структуры одной фазы до структуры другой фазы. Образование поверхностного слоя есть результат взаимодействия смежных фаз. Изменения свойств и структуры поверхностного слоя обусловлены действием поверхностной энергии.

При постоянных температуре и давлении поверхностная энергия Гиббса определяется произведением поверхностного натяжения (фактор интенсивности) σ (Дж/м²) на площадь поверхности (фактор емкости) s (м²):

$$G_s = \sigma s, \text{ Дж} \quad (2.1)$$

Поверхностные явления выражаются в том, что состояние находящихся в поверхностном слое молекул (2) иное по сравнению с молекулами, находящимися в объеме тела (1) (Рисунок 1). Молекулы в объеме тела равномерно окружены такими же молекулами, и поэтому их силовые поля полностью скомпенсированы. Молекулы поверхностного слоя взаимодействуют как с молекулами одной фазы, так и с молекулами другой фазы, в результате чего равнодействующая молекулярных сил в поверхностном слое не равна нулю и направлена внутрь той фазы, с которой взаимодействие больше. Таким образом, возникает поверхностное натяжение σ , стремящееся сократить поверхность.

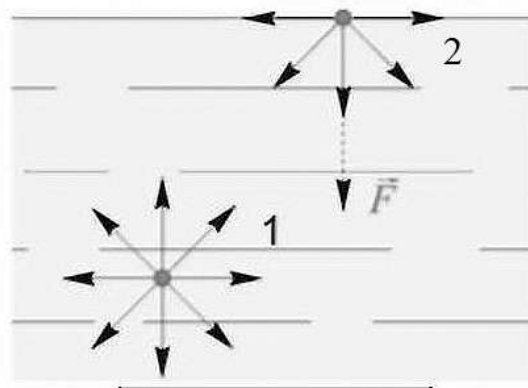


Рисунок 1.

Поверхностное натяжение можно представить и как энергию переноса молекул из объема тела на поверхность или как работу образования единицы поверхности.

Внутренняя (полная) энергия поверхностного слоя U_s (в расчете на единицу площади) связана с о уравнением Гиббса — Гельмгольца:

$$U_s = \sigma - T \left(\frac{\delta \sigma}{\delta T} \right)_p, \text{ Дж/м}^2 \quad (2.2)$$

$$U_s = \sigma + q_s, \quad (2.3)$$

где q_s — теплота образования единицы поверхности (Дж/м²); T — температура, °К.

Стремление системы к уменьшению поверхностной энергии Гиббса выражается в самопроизвольном уменьшении межфазной поверхности (изменение формы и кривизны, проявление процессов коагуляции и др.) и уменьшении поверхностного натяжения (проявление процессов адсорбции, адгезии и смачивания, возникновение электрического потенциала и др.).

Явление поглощения твердым или жидким телом веществ из внешней среды называется *сорбцией*. Сорбция, происходящая только на поверхности тела, называется *адсорбцией*. Если же поглощение происходит всем объемом поглотителя (адсорбента), то такое явление называют *абсорбцией*.

Адсорбцию выражают в моль (или миллимоль) на м² поверхности или в моль (миллимоль) на кг адсорбента. Адсорбция газов также может быть выражена в м³/кг.

Величина адсорбции зависит от природы адсорбента и адсорбтива, от температуры, от давления газа или концентрации растворенного вещества. Зависимость адсорбции от давления газообразного вещества выражается эмпирическим уравнением Фрейндлиха:

$$\frac{x}{m} = aP^n, \quad (2.4)$$

где x — количество адсорбируемого вещества (моль или м³), m — масса поглотителя (кг), P — давление (мм рт. Ст); a и n — константы, характерные для данного процесса адсорбции ($n > 1$).

Так как это уравнение справедливо только при постоянной температуре, то его называют изотермой адсорбции.

Однако уравнение Фрейндлиха неприменимо в области малых и больших давлений адсорбируемого вещества. Сравнительно удовлетворительную количественную характеристику адсорбции как при низких, так и при высоких давлениях адсорбируемого вещества дает уравнение изотермы адсорбции Лэнгмюра, выведенное на основании молекулярно-кинетической теории:

$$\Gamma = \Gamma_{\infty} \frac{P}{P+b}, \quad (2.5)$$

где Γ — количество адсорбируемого вещества единицей поверхности адсорбента (моль/м²); Γ_{∞} — количество адсорбируемого вещества при полном насыщении единицы поверхности (моль/м²); P — давление; b — константа адсорбционного равновесия.

Если же вещество адсорбируется твердым телом из раствора, то в уравнениях Фрейндлиха и Лэнгмюра давление P заменяют величиной равновесной концентрации C :

$$\frac{x}{m} = aC^{\frac{1}{n}}, \quad (2.6) \quad \Gamma = \Gamma_{\infty} \frac{C}{C+b}, \quad (2.7)$$

Если же адсорбция какого-либо вещества происходит на поверхности раствора, то это приводит к изменению поверхностного натяжения. Количественное соотношение между величиной адсорбции и изменением поверхностного натяжения с концентрацией раствора определяется уравнением Гиббса:

$$\Gamma = - \frac{C}{RT} \cdot \frac{d\sigma}{dC}, \quad (2.8)$$

где Γ — адсорбция — избыток растворенного вещества, моль/м²; C — молярная концентрация раствора, моль/л; σ — поверхностное натяжение, Дж/м².

Для приближенных расчетов $\frac{d\sigma}{dC}$ можно заменить на

$$\frac{\Delta\sigma}{\Delta C} = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{C_2 - C_1}$$

тогда

$$\Gamma = - \frac{C_2}{RT} \cdot \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{C_2 - C_1} \quad (2.9)$$

Из уравнения следует, что если с увеличением концентрации растворенного вещества поверхностное натяжение уменьшается, то адсорбция положительна. Если же растворенное вещество поверхностное натяжение повышает, то адсорбция отрицательная.

Задачи:

1. Определите энергию Гиббса поверхности 5 г тумана воды, если поверхностное натяжение капель жидкости составляет 71,96 мДж/м², а дисперсность частиц 60 мкм⁻¹. Плотность воды примите равной 0,997 г/см³.
2. Аэрозоль ртути сконденсировался в виде большой капли объемом 3,5 см³. Определите, на сколько уменьшилась поверхностная энергия ртути, если дисперсность аэрозоля составляла 10 мкм⁻¹. Поверхностное натяжение ртути примите равным 0,475 Дж/м².

3. Определите поверхностное натяжение бензола при 293, 313 и 343 К. Примите, что полная поверхностная энергия не зависит от температуры и для бензола равна 61,9 мДж/м². Температурный коэффициент $\frac{\delta\sigma}{\delta T} = -0,13$ мДж/(м²·К).

4. Рассчитайте полную поверхностную энергию 5 г эмульсии бензола в воде с концентрацией 55 % (масс.) и дисперсностью 3 мкм⁻¹ при температуре 313 К. Плотность бензола 0,858 г/см³, межфазное поверхностное натяжение 26,13 мДж/м², температурный коэффициент поверхностного натяжения бензола $\frac{\delta\sigma}{\delta T} = -0,13$ мДж/(м²·К).

5. При конденсации тумана, состоящего из капель кадмия, образовалось 12,5·10⁻⁶ м³ жидкого кадмия. Поверхностное натяжение при температуре конденсации равно 570 мДж/м². Свободная поверхностная энергия всех капель составляла 53 Дж. Вычислите дисперсность и диаметр капель жидкого кадмия.

6. По зависимости поверхностного натяжения (σ) от температуры определить температурный коэффициент поверхностного натяжения для ртути:

Температура, К	313	363	413	443
Поверхностное натяжение σ , Дж/м ²	0,4797	0,4680	0,4564	0,4494

7. Вычислите величину адсорбции аргона на угле при —78 °С, если давление аргона равно 1,72 · 10⁴ и 7,52 · 10⁴ Па, $a = 4,83 \cdot 10^{-5}$ м³/кг и $1/n = 0,6024$.

8. На основании опытных данных графическим методом рассчитайте в уравнении Фрейндлиха константы a и $1/n$ для адсорбции аргона углем при —78 °С:

P , Па	7220	13100	17200	29000	39300
$\frac{x}{m}$, м ³ /кг	0,0102	0,0147	0,0173	0,0237	0,0284

9. Рассчитайте адсорбцию азота (в м³/кг) на слюде при 90 К (приведенных к температуре 20 °С и давлению 1,013 · 10⁶ Па) по уравнению Лэнгмюра, если давление азота равно 1730 и 670 Па, $\Gamma_{\infty} = 0,0385$ м³/кг, а $b = 847$.

10. Рассчитайте константы a и $1/n$ графическим методом для адсорбции уксусной кислоты животным углем при 25 °С на основе следующих опытных данных:

C (CH ₃ COOH), моль/л	0,018	0,126	0,268	0,471	2,785
$\frac{x}{m}$, моль/кг	0,47	1,11	1,55	2,04	4,27

Задачи для самостоятельной работы:

11. Сколько нужно затратить энергии, чтобы диспергировать $1 \cdot 10^{-5}$ м³ масла в виде тумана с дисперсностью частиц $1 \cdot 10^5$ м⁻¹? Поверхностное натяжение масла $40,5 \cdot 10^{-3}$ Дж/м².

12. По зависимости поверхностного натяжения (σ) от температуры определить температурный коэффициент поверхностного натяжения для метанола и полную поверхностную энергию:

Температура, К	273	283	293	303	313
Поверхностное натяжение σ , Дж/м ²	24,5	23,5	22,6	21,8	20,9

13. На основании данных адсорбции бензойной кислоты из бензола на угле при 25 °С определите графическим методом константы в уравнении Фрейндлиха.

C , моль/л	0,06	0,025	0,059	0,118
$\frac{x}{m}$, моль/кг	0,44	0,78	1,04	1,44

14. Определите адсорбцию уксусной кислоты на животном угле при 25 °С, если равновесная молярная концентрация кислоты равна: 0,062 моль/л и 0,882 моль/л. Константы $a = 0,155$ моль/кг, а $1/n = 0,42$.

Вопросы для самоконтроля:

1. Дайте определение понятиям: сорбция, адсорбция, абсорбция, десорбция. Приведите примеры.

2. Объясните причины и механизм адсорбции.
3. Какие факторы влияют на адсорбцию? В чем выражается их действие?
4. Приведите уравнения, выражающие зависимость адсорбции от давления. При всяких ли давлениях справедливы эти уравнения?
5. В чем состоит сущность графического метода определения констант в уравнении Фрейндлиха и в уравнении Лэнгмюра?
6. Что такое обменная адсорбция? Каково ее практическое значение?
7. В чем отличие физической адсорбции от хемосорбции?
8. Что такое поверхностное натяжение и как оно возникает?
9. Какие существуют методы измерения поверхностного натяжения?
10. Какие вещества называются поверхностно-активными? Приведите примеры.

ЗАНЯТИЕ № 3

Оптические свойства дисперсных систем

Коллоидные системы поглощают, преломляют и рассеивают свет. Способность к светорассеянию (опалесценции) объясняется соизмеримостью размеров коллоидных частиц с длиной световых волн видимой части спектра. Теория светорассеяния разработана Рэлеем и устанавливает зависимость интенсивности опалесценции I от размера частиц, концентрации и показателей преломления.

$$I = I_0 \frac{24\pi^3 v_c V^2}{\lambda^4} \left(\frac{n_1^2 - n_0^2}{n_1^2 + 2n_0^2} \right)^2, \text{ Вт/м}^2 \quad (3.1)$$

где I_0 — интенсивность падающего света, Вт/м²; v_c — частичная концентрация (число частиц в 1 м³ дисперсной системы), м⁻³; V — объем каждой частицы, м³; n_1 и n_0 — показатели преломления дисперсной фазы и дисперсионной среды, соответственно; λ — длина волны падающего света, м.

Опалесценцию можно наблюдать не только в боковом освещении, но также измеряя интенсивность прошедшего света. При прохождении через систему интенсивность падающего света ослабляется вследствие поглощения или рассеяния согласно закону Ламберта — Бера:

$$I = I_0 e^{-\varepsilon C d}, \text{ Вт/м}^2, \quad (3.2)$$

где I — интенсивность прошедшего света, Вт/м²; d — толщина поглощающего слоя, м; c — концентрация вещества, кг/м³; ε — индивидуальная константа, зависящая от природы вещества, длины световой волны и не зависящая от концентрации раствора.

$$-2,3 \lg \frac{I_0}{I} = \varepsilon C d = D_\lambda, \quad (3.3)$$

где D_λ — оптическая плотность системы.

Задачи:

1. Сравните интенсивности светорассеяния высокодисперсного полистирола, освещенного монохроматическим светом с длиной волны $\lambda_1 = 680 \cdot 10^{-9}$ м, а затем с длиной волны $\lambda_2 = 420 \cdot 10^{-9}$ м.
2. Используя уравнение Рэлея, сравните интенсивность светорассеяния двух эмульсий с равными радиусами частиц и концентрациями: бензола в воде (показатель преломления $n_1 = 1,50$) и n -пентана в воде ($n_2 = 1,36$). Показатель преломления воды $n_0 = 1,33$.

3. Сравните интенсивности светорассеяния эмульсии бензина в воде (показатель преломления $n_1 = 1,38$) и тетралина в воде ($n_2 = 1,54$) при 293° . Показатель преломления воды $n_0 = 1,33$. Размер частиц и концентрация эмульсий одинаковы.

4. В каком случае и во сколько раз интенсивность светорассеяния латекса полистирола больше: при освещении светом с $\lambda_1 = 530 \cdot 10^{-9}$ м или с $\lambda_2 = 680 \cdot 10^{-9}$ м?

5. Поток света с длиной волны $\lambda = 528$ нм, проходя через эмульсию CCl_4 в воде толщиной слоя $d = 5$ см, ослабляется в результате светорассеяния в два раза. Рассчитайте радиус частиц дисперсной фазы, если ее объемное содержание $c_v = 0,8\%$, показатель преломления CCl_4 $n_1 = 1,460$, воды $n_0 = 1,333$. Свет рассеивается в соответствии с уравнением Рэлея и ослабляется по закону Бугера — Ламберта — Бера.

6. Покажите, в каком случае и во сколько раз интенсивность рассеянного дисперсной системой света больше: при освещении синим светом ($\lambda_1 = 410$ нм) или красным светом ($\lambda_2 = 630$ нм). Светорассеяние происходит в соответствии с уравнением Рэлея, и интенсивности падающих монохроматических пучков света равны.

7. При изучении ослабления синего света золями мастики получены следующие данные:

Концентрация золя, % (масс.)	0,60	0,20	0,08	0,04
Толщина слоя, мм	2,5	2,5	20	20
Доля прошедшего света, %	3,1	29,4	2,6	15,9

Покажите применимость уравнения Бугера — Ламберта — Бэра для этой дисперсной системы. Рассчитайте, какая доля света будет рассеяна 0,25%-ным золем при толщине поглощающего слоя равной 10 мм.

8. Рассмотрите возможность применения уравнения Бугера — Ламберта — Бэра для гидрозолей гидроксида железа, используя данные по ослаблению монохроматического света ($\lambda = 500$ нм) этими дисперсными системами:

Концентрация золя, % (масс.)	0,20	0,10	0,08	0,04	0,02
Толщина слоя, мм	2,5	2,5	2,5	5,0	5,0
Доля прошедшего света, %	1,7	11,8	18,6	18,2	43,0

Определите, какая доля света будет рассеяна 0,02 %-ным золем, находящимся в кювете длиной 30 мм.

9. Два пучка монохроматического света равной начальной интенсивности с $\lambda_1 = 440$ нм (синий свет) и $\lambda_2 = 630$ нм (красный свет) проходят через эмульсию бензола в воде. Рассчитайте отношение интенсивностей прошедшего света, если толщина слоя эмульсии равна:

а) 1 см; б) 5 см; в) 10 см. Содержание дисперсной фазы 0,10% (об.), средний радиус частиц эмульсии 40 нм, показатель преломления бензола и воды соответственно $n_1 = 1,501$ и $n_0 = 1,333$. При расчете примите, что ослабление света происходит только в результате светорассеяния и показатели преломления не зависят от длины волны света.

10. Свет с длиной волны 540 нм и начальной интенсивностью I_0 проходит через слой эмульсии тетралина в воде толщиной: а) 5 см; б) 10 см; в) 15 см; г) 20 см. Рассчитайте долю прошедшего света I/I_0 и постройте график зависимости ее от радиуса частиц дисперсной фазы, изменяющегося в результате коалесценции от 10 до 50 нм. Содержание дисперсной фазы 0,05 % (масс.), показатель преломления тетралина и воды $n_1 = 1,540$ и $n_0 = 1,333$.

Задачи для самостоятельной работы:

11. Как изменится интенсивность рассеянного света, если фруктовый сок, являющийся дисперсной системой, подвергнуть воздействию света длиной волн $\lambda_1 = 530$ нм и $\lambda_2 = 780$ нм?

12. Вычислите значение молярного коэффициента поглощения (ϵ) при прохождении света (длина волны 470 нм) через слой коллоидного раствора гидроксида железа концентрации $c = 0,1$ % при толщине слоя $d = 2,5 \cdot 10^{-3}$ м, если уменьшение интенсивности прошедшего света составляет 5,9 %.

13. С помощью уравнения Рэлея рассчитайте, во сколько раз интенсивность рассеянного света дисперсной системы больше при освещении светом с длиной волны $\lambda_1 = 310$ нм или длиной волны $\lambda_2 = 490$ нм.

14. Определите процент прохождения лучей света через коллоидный раствор гидроксида железа. Концентрация золя 0,4 % и толщина слоя 10^{-3} м. Коэффициент поглощения равен $\epsilon = 8570$.

15. Определите процент прохождения лучей света через коллоидный раствор гидроксида железа. Концентрация золя 0,1 % и толщина слоя $2,5 \cdot 10^{-3}$ м. Коэффициент поглощения равен $\epsilon = 8570$.

Вопросы для самоконтроля:

1. Какие оптические явления наблюдаются при падении луча света на дисперсную систему? Какие методы исследования дисперсных систем основаны на этих явлениях?
2. Какие оптические методы используются для определения размеров частиц дисперсных систем? Укажите границы применимости (по дисперсности) этих методов.
3. Каковы преимущества и недостатки электронной микроскопии, применяемой для определения размеров частиц дисперсных систем?
4. Чем обусловлено светорассеяние в дисперсных системах и истинных растворах? Какими параметрами количественно характеризуют рассеяние света в системе?
5. Какие золи называют «белыми»? Какова связь между оптической плотностью и мутностью белых зольей? Для каких дисперсных систем применимо уравнение Рэлея?
6. Какие волны света рассеиваются, и какие проходят через коллоидную систему в большей степени?
7. Как влияют размеры частиц на зависимость оптической плотности белых зольей от длины волны падающего света?
8. Чем различаются методы нефелометрии и турбидиметрии? Какие уравнения используются для определения характеристик рассеяния света?
9. В чем заключаются особенности метода ультрамикроскопии? Для каких дисперсных систем применим этот метод? Какие характеристики дисперсных систем могут быть определены этим методом?
10. От каких факторов зависит светопоглощение по уравнению Ламберта — Бера?

ЗАНЯТИЕ № 4

Кинетические свойства дисперсных систем

В микрогетерогенных системах (суспензиях, эмульсиях, газовых эмульсиях, аэрозолях), частицы которых благодаря большой массе не могут принимать участия в тепловом (броуновском) движении, происходит седиментация — осаждение или обратный процесс — всплывание частиц. Если движение потока частиц ламинарное и может быть описано уравнением Стокса, то скорость оседания (всплывания) в гравитационном поле U связана с их размером следующим соотношением:

$$U = \frac{Vg(\rho - \rho_0)}{B}, \text{ м/с}, \quad (4.1)$$

где V — объем частицы, м^3 ; $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ — ускорение свободного падения, ; ρ и ρ_0 — соответственно плотность частицы и дисперсионной среды, кг/м^3 ; B — коэффициент трения. Для сферических частиц $B = 6\pi\eta r$, где r — радиус частицы, м ; η — вязкость дисперсионной среды, $\text{Па}\cdot\text{с}$.

Способность системы к седиментации характеризуют константой седиментации:

$$S_{\text{сед.}} = \frac{m_{\text{ом}}}{B} = \frac{V(\rho - \rho_0)}{B}, \quad (4.2)$$

Соотношения (4. 1) и (4.2) используются в седиментационном анализе дисперсности различных материалов.

Седиментационный анализ дисперсности состоит в получении кривой седиментации, т. е. зависимости массы осадка m дисперсной фазы (осевшей к данному времени) от времени осаждения τ . Для монодисперсной (с одинаковыми частицами) системы такая зависимость является линейной:

$$m = \frac{Q}{H} u\tau, \text{ кг}, \quad (4.3)$$

где Q — общая масса дисперсной фазы, кг ; H — первоначальная высота столба суспензии, м .

Все реальные дисперсные системы полидисперсны (частицы дисперсной фазы имеют разные размеры), и поэтому скорости осаждения частиц различных фракций разные: крупные частицы осаждаются быстрее, мелкие — медленнее. По этой причине кривая седиментации выпукла к оси ординат. Тангенсы угла наклона касательных в данных точках кривой седиментации определяют скорости седиментации соответствующих фракций частиц. Зная скорости осаждения частиц отдельных фракций, по уравнению (4.1) можно рассчитать их размеры (радиусы). Построением интегральной, а затем дифференциальной кривых рас-

пределения частиц полидисперсной системы по радиусам (размерам) заканчивается седиментационный анализ.

Ультрамикрогетерогенные системы (золи) отличаются тем, что их частицы принимают участие в тепловом движении, следуют всем молекулярно-кинетическим законам, которые позволяют по соответствующим экспериментальным зависимостям определить концентрацию, массу и размер частиц дисперсной фазы.

К таким законам относится закон Эйнштейна — Смолуховского, который устанавливает связь между средним сдвигом частиц $\bar{\Delta}$ и коэффициентом диффузии D :

$$\bar{\Delta}^2 = 2 D \tau, \text{ м}^2, \quad (4.4)$$

где τ — время между моментами измерения расстояний движущейся частицы, с. К золям применимо также уравнение Эйнштейна для коэффициента диффузии D . Если частицы сферические, то это уравнение имеет вид

$$D = \frac{kT}{6\pi\eta r}, \text{ м}^2/\text{с} \quad (4.5)$$

где $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К — постоянная Больцмана; T — температура, °К; η — вязкость дисперсионной среды, Па·с; r — радиус частицы дисперсной фазы, м.

Как видно из уравнения (4.5), кинетическую устойчивость к седиментации можно регулировать путем изменения вязкости и плотности среды, плотности и размеров частиц.

Мерой термодинамической устойчивости к седиментации является высота h_e , на протяжении которой концентрация дисперсной фазы изменяется в e раз:

$$h_e = \frac{kT}{m_{om}g} = \frac{kT}{Vg(\rho - \rho_0)}, \text{ м}. \quad (4.6)$$

Чем больше высота h_e , тем система термодинамически более устойчива к седиментации. Устойчивость повышается с ростом температуры, с уменьшением размера частиц и с разностью плотностей веществ частицы и среды.

Задачи:

1. Среднеквадратичное значение проекции сдвига частицы гидрозоля SiO_2 за 3 с составляет 8 мкм. Определите радиус частицы, если вязкость дисперсионной среды равна $1 \cdot 10^{-3}$ Па·с при 293 К.
2. Определите проекцию среднего сдвига $\bar{\Delta}$ для частиц гидрозоля за время 10 с, если радиус частиц 0,05 мкм, температура опыта 293 К, вязкость среды $1 \cdot 10^{-3}$ Па·с.

3. Удельная поверхность сферических частиц гидрозоля кремнезема составляет: а) $1,1 \cdot 10^4 \text{ м}^2/\text{кг}$; б) $1,1 \cdot 10^5 \text{ м}^2/\text{кг}$; в) $1,1 \cdot 10^6 \text{ м}^2/\text{кг}$. Плотность кремнезема $2,7 \text{ г}/\text{см}^3$, вязкость дисперсионной среды $1 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$, температура 293 К . Определите проекции среднего сдвига частиц золя за время 4 с .

4. По данным эксперимента, коэффициент диффузии коллоидных частиц золота в воде при 298 К равен $2,7 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{сут}$. Определите дисперсность частиц гидрозоля золота. Вязкость воды при 298 К равна $8,94 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$.

5. Определите частичную концентрацию золя Al_2O_3 , исходя из следующих данных: массовая концентрация $0,3 \text{ г}/\text{л}$, коэффициент диффузии сферических частиц золя $2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{сут}$, плотность Al_2O_3 $4 \text{ г}/\text{см}^3$, вязкость среды $1 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$, температура 293 К .

6. Результаты экспериментов по определению среднего сдвига $\bar{\Delta}$ частиц золя платины в разных средах при 293 К следующие:

	$\eta \cdot 10^4, \text{ Па}\cdot\text{с}$	$\tau, \text{ с}$	$\bar{\Delta}, \text{ мкм}$
Ацетон	3,2	1,60	6,2
Вода	10,0	0,65	2,1
Пропиловый спирт	22,6	0,45	1,3

На основании этих данных определите дисперсность частиц золя, а также коэффициенты диффузии частиц в указанных средах.

7. Определите коэффициент диффузии D и среднеквадратичный сдвиг $\bar{\Delta}$ частицы гидрозоля за время $\tau = 10 \text{ нм}$, $T = 293,2 \text{ К}$, вязкость среды $\eta = 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$, $r = 50 \text{ нм}$.

8. Определите радиус гидрозоля золота, если после установления диффузионно-седиментационного равновесия при 293 К на высоте $h = 8,56 \text{ см}$ концентрация частиц изменяется в e раз. Плотность золота $\rho = 19,3 \text{ г}/\text{см}^3$, плотность воды $\rho_0 = 1,0 \text{ г}/\text{см}^3$.

9. Рассчитайте размер частиц диоксида кремния, если известно, что время их оседания τ на расстоянии $h = 10^{-2} \text{ м}$ составляет 60 мин . Плотность дисперсной

фазы $\rho = 2,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, плотность среды $\rho_0 = 1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, вязкость среды $\eta = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$.

10. Рассчитайте время, за которое сферические частицы стекла в воде оседают на расстояние 1 см, если дисперсность частиц составляет: а) $0,1 \text{ мкм}^{-1}$; б) 1 мкм^{-1} ; в) 10 мкм^{-1} . Плотность дисперсной фазы и дисперсионной среды соответственно 2,4 и $1,0 \text{ г/см}^3$. Вязкость дисперсионной среды $1 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$.

Задачи для самостоятельной работы:

11. Покажите, что среднеквадратичный сдвиг частиц радиусом $r_1 = 100 \text{ мкм}$ и $r_2 = 1 \text{ мкм}$ соответствует уравнению Эйнштейна, если смещение $\bar{\Delta}$ соответственно равно 4,1 мкм и 41 мкм за одно и то же время.

12. Вычислите средний квадратичный сдвиг частиц гидрозоля гидроксида железа (III) за 10с, если радиус частиц равен 50 мкм, вязкость воды $\eta = 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$, температура 200 С° .

13. Рассчитайте размер частиц диоксида кремния, если известно, что время их оседания на расстояние 1 см составляет: а) 30 с; б) 60 мин; в) 100 ч. Плотность дисперсной фазы и дисперсионной среды составляет соответственно 2,7 и $1,1 \text{ г/см}^3$, вязкость дисперсионной среды $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$.

14. Определите удельную поверхность порошка сульфата бария (в расчете на единицу массы), если частицы его оседают в водной среде на высоту 0,226 м за 1350 с (предполагая, что частицы имеют сферическую форму). Плотность сульфата бария и воды соответственно 4,5 и 1 г/см^3 , вязкость воды $1 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$.

15. Рассчитайте, за какое время сферические частицы Al_2O_3 , распределенные в среде с вязкостью $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$, оседают на высоту 1 см, если удельная поверхность частиц составляет: а) 10^4 м^{-1} ; б) 10^5 м^{-1} ; в) 10^6 м^{-1} . Плотности дисперсной фазы и дисперсионной среды равны соответственно 4 и 1 г/см^3 .

Вопросы для самоконтроля:

1. Чем обусловлено броуновское движение частиц дисперсных систем? В каких системах возможно броуновское движение? Приведите примеры.

2. Какова количественная взаимосвязь между броуновским движением частиц и тепловым движением молекул среды. Как можно рассчитать число Авогадро, используя это соотношение?

3. Какие выводы можно сделать из теории броуновского движения, обобщающей свойства истинных растворов и золей?
4. Какие методы дисперсионного анализа вам известны? Укажите области их применения. Для каких дисперсных систем применяется седиментационный анализ в гравитационном поле и в центробежном поле?
5. Напишите уравнение Стокса для скорости седиментации в гравитационном поле. Каков физический смысл входящих в него величин? Изменением каких параметров системы можно изменять скорость осаждения частиц?
6. Каковы условия соблюдения закона Стокса при седиментации? Какие отклонения наблюдаются при несоблюдении этих условий?
7. Что такое константа седиментации и что она характеризует? Напишите выражение для константы седиментации сферических частиц, если осаждение их подчиняется закону Стокса.
8. Какие системы называют монодисперсными и полидисперсными? Что служит характеристикой полидисперсности системы?
9. Для каких систем применяется седиментационный анализ в центробежном поле? Как изменяется скорость оседания частиц в центробежном поле в процессе седиментации? Напишите выражение для константы седиментации в центробежном поле.
10. Что такое диффузионно-седиментационное равновесие? Чем характеризуются кинетическая и термодинамическая седиментационная устойчивость системы? Как определяют размеры частиц в условиях диффузионно-седиментационного равновесия?

ЗАНЯТИЕ № 5

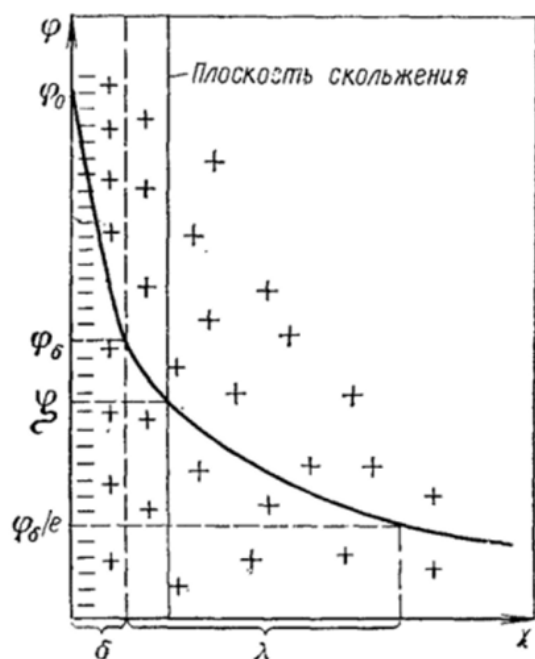
Электрокинетические свойства дисперсных систем

Относительное движение фаз дисперсных систем можно наблюдать также под действием электрического поля, что обусловлено наличием на межфазных поверхностях двойного электрического слоя, возникающего вследствие межфазного взаимодействия.

Различают три механизма образования двойных электрических слоев: 1) поверхностная диссоциация функциональных групп, 2) адсорбция ионов электролитов и 3) ориентирование полярных молекул на межфазной границе. В результате указанных взаимодействий поверхность со стороны одной фазы заряжается положительно, а со стороны другой — отрицательно.

Двойной электрический слой (ДЭС) состоит из заряженной поверхности с потенциалом φ_0 и противоположно заряженной части слоя, в которой находятся противоионы (рис.2). Одна часть противоионов примыкает непосредственно к поверхности, образуя плотный (адсорбционный) слой — слой Гельмгольца. Другая часть противоионов под действием теплового движения распространяется в глубь фазы, образуя так называемый диффузионный слой, или слой Гуи.

Рисунок 2. Двойной электрический слой и изменение в нем потенциала.



Толщина плотного слоя Гельмгольца принимается равной диаметру противоиона. Эту часть ДЭС можно рассматривать как плоский конденсатор, потенциал которого с увеличением расстояния от поверхности снижается линейно. По теории Гуи — Чепмена противоионы диффузной части ДЭС распределяются в поле поверхностного потенциала в соответствии с законом Больцмана. Теория показывает, что потенциал в диффузной части слоя снижается с расстоянием по экспоненте. При малом значении потенциала эта зависимость выражается уравнением

$$\varphi = \varphi_\delta e^{-\kappa x}, \text{ В} \quad (5.1)$$

где ϕ_δ — потенциал диффузного слоя, В; x — расстояние от начала диффузной части ДЭС, м; k — величина, обратная толщине диффузной части слоя, м^{-1} .

Из уравнения следует, что за толщину диффузной части слоя принято расстояние, на котором потенциал диффузной части слоя ϕ_δ уменьшается в e раз.

В соответствии с той же теорией толщина диффузной части слоя равна

$$\lambda = \frac{1}{k} = \sqrt{\frac{\epsilon\epsilon_0 RT}{2F^2 I}} = k \sqrt{\frac{\epsilon T}{\sum_i C_{0i} z_i^2}}, \text{ м}, \quad (5.2)$$

где $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12}$ Ф/м — электрическая постоянная; ϵ — относительная диэлектрическая проницаемость среды; $F = 96500$ Кл/моль — постоянная Фарадея; I — ионная сила раствора, моль/л; C_{0i} — концентрация иона в растворе, моль/л; z_i — заряд иона электролита.

При движении одной фазы относительно другой на плоскости скольжения происходит разрыв ДЭС (как правило, в диффузной части) и возникновение электрокинетического («дзета») ξ - потенциала (см. рис. 2).

Под действием электрического поля могут двигаться дисперсная фаза относительно дисперсионной среды (электрофорез) или дисперсионная среда относительно дисперсной фазы (электроосмос). Механическое движение дисперсной фазы относительно дисперсионной среды (седиментация) вызывает возникновение электрической разности потенциалов (потенциал седиментации). Если электрическая разность потенциалов возникает при движении дисперсионной среды относительно дисперсной фазы, то такое явление называют потенциалом протекания.

Наибольшее распространение из электрокинетических явлений получили электрофорез и электроосмос. Значение электрокинетического потенциала, возникающего при электрофорезе или электроосмосе, можно рассчитать по уравнению Гельмгольца — Смолуховского:

$$\xi = \frac{\eta U_0}{\epsilon\epsilon_0 E}, \text{ В}, \quad (5.3)$$

или

$$\xi = \frac{\eta \kappa v}{\epsilon\epsilon_0 I}, \text{ В}, \quad (5.4)$$

где η — вязкость среды, Па·с; U_0 — линейная скорость движения фаз, м/с; E — напряженность электрического поля, В/м; κ — удельная электропроводность среды, $\text{См} \cdot \text{м}^{-1}$; v — объемная скорость движения среды, $\text{м}^3/\text{с}$; I — сила тока, А.

Электрокинетический потенциал зависит от тех же факторов, что и толщина диффузной части ДЭС.

Задачи:

1. Рассчитайте толщину диффузного ионного слоя λ на поверхности твердой пластинки, помещенной в водные растворы с содержанием индифферентного электролита KCl: а) $1 \cdot 10^{-5}$; б) $1 \cdot 10^{-3}$; в) $1 \cdot 10^{-1}$ моль/л. Относительную диэлектрическую проницаемость растворов при 298 К примите равной 78,5. Постройте график зависимости φ/φ_δ от расстояния, которое изменяется от λ до 5λ .
2. Рассчитайте толщину диффузного ионного слоя λ на поверхности пластинки при 300 К в водном растворе, 1 л которого содержит 0,05 г NaCl и 0,01 г $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ (индифферентные электролиты). Относительная диэлектрическая проницаемость раствора равна 76,5. Во сколько раз изменится λ , если раствор разбавить чистой водой в 4 раза?
3. Рассчитайте толщину диффузного ионного слоя λ частиц дисперсной фазы при 293 К в водных растворах, содержащих $1 \cdot 10^{-4}$ моль/л одного из следующих электролитов: NaCl, CaCl_2 , MgSO_4 . Считая, что относительная диэлектрическая проницаемость растворов линейно изменяется от 87,8 до 69,7 при повышении температуры от 273 до 323 К, постройте зависимость λ от T для раствора NaCl.
4. Рассчитайте электрокинетический потенциал поверхности кварца по данным, полученным при исследовании электроосмотического переноса жидкости через кварцевую мембрану: сила тока $2 \cdot 10^{-3}$ А, объемная скорость раствора KCl, переносимого через мембрану, 0,02 мл/с, удельная электропроводность раствора $1,2 \cdot 10^{-2}$ См·м⁻¹, вязкость $1 \cdot 10^{-3}$ Па·с, относительная диэлектрическая проницаемость 80,1.
5. Рассчитайте электрокинетический потенциал на границе раздела фаз кварц — водный раствор KCl по следующим данным электроосмоса: сила тока $2 \cdot 10^{-3}$ А, время переноса 0,1 мл раствора 110 с, удельная электропроводность раствора $6,2 \cdot 10^{-2}$ См·м⁻¹, вязкость 10^{-3} Па·с, относительная диэлектрическая проницаемость 80,1.
6. Рассчитайте объем раствора, перенесенный через мембрану из корунда за 1 ч в результате электроосмоса слабого раствора электролита под действием э.д.с. 100 В. Электрокинетический потенциал поверхности корунда 0,08 В, относительная диэлектрическая проницаемость среды 80,1, вязкость $1 \cdot 10^{-3}$ Па·с, электрическое сопротивление мембраны с этим раствором $R_1 = 3900$ Ом.

7. Рассчитайте электрофоретическую скорость передвижения частиц золя сульфида мышьяка по следующим данным: ζ - потенциал частиц — 42,3 мВ, расстояние между электродами 0,4 м, внешняя разность потенциала 149 В, вязкость среды $1 \cdot 10^{-3}$ Па·с, относительная диэлектрическая проницаемость 80,1.

8. Найти ζ -потенциал для суспензии кварца в воде. При электрофорезе частицы перемещаются к аноду; смещение границы составляет $5 \cdot 10^{-2}$ м за 180 сек; градиент напряжения внешнего поля $E = 10 \cdot 10^{-2}$ В/м, диэлектрическая проницаемость среды $\epsilon = 81$, электрическая константа $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м, вязкость среды $\eta = 1 \cdot 10^{-3}$ Па·с.

9. Вычислить скорость электрофореза коллоидных частиц берлинской лазури в воде, если ζ -потенциал составляет 0,058 В, градиент напряжения внешнего поля $E = 5 \cdot 10^{-2}$ В/м, вязкость среды $\eta = 10^{-3}$ Па·с, диэлектрическая проницаемость $\epsilon = 81$, электрическая константа $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

10. Вычислить ζ -потенциал коллоидных частиц сульфида мышьяка в воде, если при электрофорезе за 180 сек граница сместилась на $5,4 \cdot 10^{-2}$ м. Градиент внешнего поля $E = 8 \cdot 10^{-2}$ В/м, вязкость среды $\eta = 10^{-3}$ Па·с, диэлектрическая проницаемость $\epsilon = 81$, электрическая константа $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

Задачи для самостоятельной работы:

11. Используя теорию Гуи —Чепмена для слабозаряженной поверхности, оцените значение потенциала ϕ и объемной плотности заряда ρ на расстоянии $x = 15$ нм от поверхности. Окружающей средой является водный раствор NaCl с концентрацией $5 \cdot 10^{-4}$ моль/л, температура 293 К, относительная диэлектрическая проницаемость среды 80,1, потенциал поверхности $\phi_0 \approx \phi_\delta = 0,02$ В. Определите, во сколько раз изменятся ϕ и ρ , если x увеличить в три раза.

12. Рассчитайте объемную плотность заряда на границе диффузного слоя ρ_δ дисперсной фазы по следующим данным: $\phi_\delta = 0,03$ В, окружающей средой является водный раствор KCl с концентрацией $3 \cdot 10^{-4}$ моль/л, относительная диэлектрическая проницаемость среды 80,1, температура 293 К. Чему равна плотность поверхностного заряда, обусловленного диффузным слоем?

13. Рассчитайте емкость диффузного слоя дисперсной фазы. Дисперсионной средой является водный раствор CaCl_2 концентрации $2 \cdot 10^{-4}$ моль/л при 283 К с

относительной диэлектрической проницаемостью 83,8. Определите, во сколько раз изменится емкость, если к раствору CaCl_2 добавить равный объем водного раствора NaCl такой же молярной концентрации?

14. Найти величину ζ -потенциала на границе кварцевое стекло — водный раствор KCl . Процесс электроосмоса характеризовался следующими данными: сила тока $I = 4 \cdot 10^{-4}$ А, время переноса $0,01 \cdot 10^{-6}$ м³ раствора $\tau = 12,4$ сек, удельная электропроводность среды $\kappa = 1,8 \cdot 10^{-2}$ ом⁻¹·м⁻¹, вязкость $\eta = 10^{-3}$ Па·с, диэлектрическая проницаемость $\epsilon = 81$, электрическая константа $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

15. Найти объемную скорость электроосмоса, наблюдаемого в системе: водный раствор KCl — мембрана из полистирола, окрашенная жировым коричневым красителем. ζ -потенциал $6 \cdot 10^{-3}$ в, сила тока $I = 7 \cdot 10^{-3}$ А, удельная электропроводность $\kappa = 9 \cdot 10^{-2}$ ом⁻¹·м⁻¹, вязкость $\eta = 10^{-3}$ Па·с, диэлектрическая проницаемость $\epsilon = 81$, электрическая константа $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

Вопросы для самоконтроля:

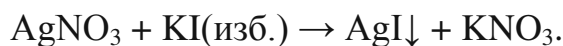
1. Каковы возможные причины возникновения двойного электрического слоя на межфазной поверхности? Приведите примеры механизмов образования двойного электрического слоя в различных дисперсных системах.
2. Охарактеризуйте строение двойного электрического слоя на поверхности раздела фаз. Как изменяется потенциал с расстоянием от поверхности?
3. Расскажите об основных положениях теории строения двойного электрического слоя. Какое соотношение лежит в основе этой теории?
4. Что понимают под толщиной диффузной части двойного электрического слоя? Чем определяется толщина плотной и диффузной частей двойного электрического слоя?
5. Перечислите электрокинетические явления и объясните, чем они обусловлены.
6. В каких областях научных исследований используются электрокинетические явления
7. Что называют электрокинетическим потенциалом? Какие факторы влияют на ζ -потенциал? Как изменяется ζ -потенциал отрицательно заряженных частиц при введении в золь нитратов калия, бария и лантана.
8. При каких условиях применимо уравнение Гельмгольца — Смолуховского для скорости электрофореза? Какими свойствами должна обладать контактная жидкость?

9. Что собой представляют релаксационный эффект, электрофоретическое торможение и поверхностная проводимость? В каких случаях их необходимо учитывать при расчете ζ -потенциала?
10. Как зависит электрокинетический потенциал от концентрации ионов в растворе и величины ионной силы раствора?

ЗАНЯТИЕ № 6

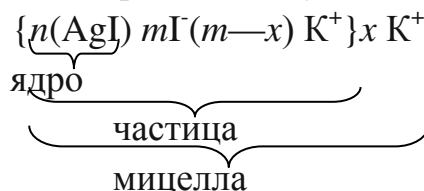
Коагуляция гидрозолей. Строение мицеллы.

Гидрозоли можно получить двумя способами: 1) раздроблением (диспергацией) макроскопических частиц до коллоидной степени дисперсности, 2) конденсацией (укрупнением частиц молекулярной дисперсности до коллоидной). Второй способ включает химические реакции, в результате которых образуются нерастворимые соединения, например:



Здесь молекулы AgI (обозначим их количество через n) составят так называемое ядро мицеллы. Для стабилизации золя берут небольшой избыток электролита, содержащего ион, общий с ионами, входящими в ядро (в данном случае, например, KI). Согласно правилу Фаянса, на поверхности ядра адсорбируются ионы иода (в количестве m), которые сообщают ядру отрицательный заряд. Это — потенциалообразующие ионы. Часть противоположно заряженных ионов калия удержится в адсорбционном слое, будучи притянута электростатическими силами к ядру (их называют связанными противоионами), остальные x свободных противоионов диффузно располагаются на некотором расстоянии от ядра.

Данное образование можно выразить следующей формулой:



Ядро с потенциалообразующими ионами и связанными противоионами составляют **частицу**, а частица вместе со свободными противоионами — **мицеллу**. В приведенном примере частица заряжена отрицательно; мицелла всегда электронейтральна.

Агрегативная устойчивость золя, характеризующаяся постоянством степени дисперсности, обуславливается, как показал Н. П. Песков, главным образом, сольватацией ионов стабилизатора. Однако добавление избыточного количества электролитов приводит к разрушению мицеллы начинается коагуляция золя. Согласно правилам электролитной коагуляции, коагулирующим ионом является ион, заряд которого противоположен заряду коллоидной частицы. Наименьшее количество электролита, необходимое для коагуляции 1 л золя, называется **порогом коагуляции**.

$$\gamma = \frac{CV}{W}, \text{ моль/л,} \quad (6.1)$$

где C — эквивалентная концентрация электролита (моль/л), V — объем раствора электролита, вызвавший коагуляцию, (л), W — объем золя (л) (при $V \ll W$).

Согласно правилу Шульце — Гарди, при коагуляции золь поливалентными ионами порог коагуляции уменьшается: коагулирующая способность двухвалентных ионов приблизительно в 50 раз, а трехвалентных в 1000 раз больше, чем одновалентных.

Б. В. Дерягиным выведено уравнение зависимости порога коагуляции от валентности коагулирующего иона Z :

$$\gamma = \frac{A\epsilon^3 T^5}{Z^6}, \text{ моль/л,} \quad (6.2)$$

где A — обобщенная константа; ϵ — диэлектрическая проницаемость среды; T — температура, К. Это уравнение хорошо согласуется с правилом Шульце — Гарди.

Задачи:

1. Напишите формулы золь: AgI , стабилизированного AgNO_3 , и $\text{Fe}(\text{OH})_3$, стабилизированного FeCl_3 . Как заряжены частицы этих золь?
2. Напишите формулы золь: $\text{Al}(\text{OH})_3$, стабилизированного AlCl_3 , и SiO_2 , стабилизированного H_2SiO_3 . Для какого из указанных золь лучшим коагулятором является раствор FeCl_3 ? Na_2SO_4 ?
3. Напишите формулу золя Au , стабилизированного KAuO_2 . У какого из электролитов — NaCl , BaCl_2 , FeCl_3 — порог коагуляции будет иметь меньшую величину?
4. Какое количество раствора $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ концентрации 0,01 моль/л требуется для коагуляции 1 л золя As_2S_3 ? Порог коагуляции $\gamma = 96 \cdot 10^{-6}$ моль/л.
5. Для коагуляции $10 \cdot 10^{-3}$ л золя AgI требуется $0,45 \cdot 10^{-6}$ л раствора $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$. Концентрация электролита равна 0,05 моль/л. Вычислите порог коагуляции золя.
6. Какое количество электролита $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ нужно добавить к 1 л золя Al_2O_3 , чтобы вызвать его коагуляцию? Концентрация электролита 0,01 моль/л, порог коагуляции $\gamma = 0,63 \cdot 10^{-3}$ моль/л.

7. Во сколько раз уменьшится порог коагуляции золя As_2S_3 , если для коагуляции вместо 0,5 моль/л NaCl (его требуется $1,2 \cdot 10^{-3}$ л на $10 \cdot 10^{-3}$ л золя) использовать 0,036 моль/л $MgCl_2$ ($0,4 \cdot 10^{-3}$ л на $10 \cdot 10^{-3}$ л золя) и 0,01 моль/л $AlCl_3$ ($0,1 \cdot 10^{-3}$ л на $10 \cdot 10^{-3}$ л золя)? Полученные значения γ сопоставьте с зависимостью порога коагуляции от валентности ионов, установленной Б. В. Дерягиным.

8. Какой объем раствора $BaCl_2$ ($C_{фэkv.} = 0,001$ моль/л) надо добавить к 0,03 л раствора K_2CrO_4 ($C_{фэkv.} = 0,001$ моль/л) чтобы получить положительно заряженные частицы золя $BaCrO_4$? Составьте формулу мицеллы золя. Какой из перечисленных электролитов будет обладать более сильным коагулирующим действием: хлорид калия, сульфат калия или фосфат калия?

9. Золь AgI получен при добавлении $8 \cdot 10^{-3}$ л водного раствора KI концентрацией 0,05 моль/л к $10 \cdot 10^{-3}$ л водного раствора $AgNO_3$ концентрацией 0,02 моль/л. Напишите формулу мицеллы образовавшегося золя. Как заражена частица золя?

10. Золь гидроксида железа (III) получен при добавлении к $85 \cdot 10^{-3}$ л кипящей дистиллированной воды $15 \cdot 10^{-3}$ л 2 %-ного раствора хлорида железа (III). Напишите формулу мицелл золя $Fe(OH)_3$, учитывая, что при образовании частиц гидроксида железа(III) в растворе присутствуют ионы Fe^{3+} и Cl^- . Как заряжены частицы золя?

Задачи для самостоятельной работы:

11. Как изменится величина порога коагуляции, если для коагуляции $10 \cdot 10^{-3}$ л золя AgI вместо $1,5 \cdot 10^{-3}$ л KNO_3 с концентрацией 1 моль/л взять $0,5 \cdot 10^{-3}$ л $Ca(NO_3)_2$ с концентрацией 0,1 моль/л или $0,2 \cdot 10^{-3}$ л $Al(NO_3)_3$ с концентрацией 0,01 моль/л? Полученные величины порога коагуляции сопоставить с зависимостью от валентности ионов, установленной Б. В. Дерягиным.

12. Золь $Al(OH)_3$ получен при добавлении к 0,005 л раствора $AlCl_3$ ($C_{фэkv.} = 0,001$ моль/л) 0,002 л раствора NaOH ($C_{фэkv.} = 0,0015$ моль/л). Напишите формулу мицеллы золя. Какой из перечисленных электролитов будет обладать более сильным коагулирующим действием: нитрат калия, сульфат магния или фосфат калия?

13. Какой объем раствора KI ($C_{фэkv.} = 0,0025$ моль/л) надо добавить к 0,035 л раствора $Pb(NO_3)_2$ ($C_{фэkv.} = 0,003$ моль/л), чтобы получить золь PbI_2 , противоионы

которого двигались бы в электрическом поле к аноду? Напишите формулу мицеллы золя. Какой из перечисленных электролитов будет обладать более сильным коагулирующим действием: хлорид натрия, сульфат натрия или фосфат калия?

14. Золь $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$ получен при добавлении к 0,015 л раствора K_3PO_4 ($C_{f_{\text{экв.}}} = 0,002$ моль/л) 0,005 л раствора MgCl_2 ($C_{f_{\text{экв.}}} = 0,004$ моль/л). Укажите формулу мицеллы золя. Какой из перечисленных электролитов будет обладать более сильным коагулирующим действием: хлорид калия, сульфат меди или нитрат алюминия?

15. Золь $\text{Fe}(\text{OH})_3$ получен смешиванием равных объемов раствора KOH ($C_{f_{\text{экв.}}} = 0,0001$ моль/л) и раствора FeCl_3 ($C_{f_{\text{экв.}}} = 0,00015$ моль/л). Укажите формулу мицеллы золя. Какой из перечисленных электролитов будет обладать более сильным коагулирующим действием: нитрат свинца, сульфат марганца или фосфат калия?

Вопросы для самоконтроля:

1. Дайте определение понятиям: коагуляция, седиментация, скрытая коагуляция, явная коагуляция.
2. Перечислите факторы, при действии которых может наступить коагуляция зольей.
3. Что называется порогом коагуляции?
4. Сформулируйте правило значимости Шульце — Гарди и приведите примеры, подтверждающие его.
5. Что такое мицелла?
6. Из каких слоев состоит коллоидная частица и мицелла?
7. Как определить заряд частицы золя?
8. Что такое потенциалопределяющий ион?
9. Какие величины связывает уравнение Дерягина?
10. Дан золь гидроксида железа (III) и золь сульфида сурьмы (III). Для коагуляции этих зольей применили растворы одинаковой нормальной концентрации следующих солей: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, AlCl_3 , Na_2SO_4 и $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_3]$. Какого раствора потребовалось для коагуляции каждого из зольей наименьшее и наибольшее количество?

ЗАНЯТИЕ № 7

Структурно-механические свойства дисперсных систем

Разбавленные агрегативно устойчивые дисперсные системы не образуют пространственной сетки из частиц дисперсной фазы (структуры), и поэтому их реологические свойства близки или подобны свойствам дисперсионной среды. Зависимость вязкости таких систем от концентрации дисперсной фазы описывается уравнением Эйнштейна:

$$\eta = \eta_0(1 + \alpha\phi) \quad \text{или} \quad \eta_{уд} = \frac{\eta - \eta_0}{\eta_0} = \alpha\phi, \text{ Па}\cdot\text{с}, \quad (7.1)$$

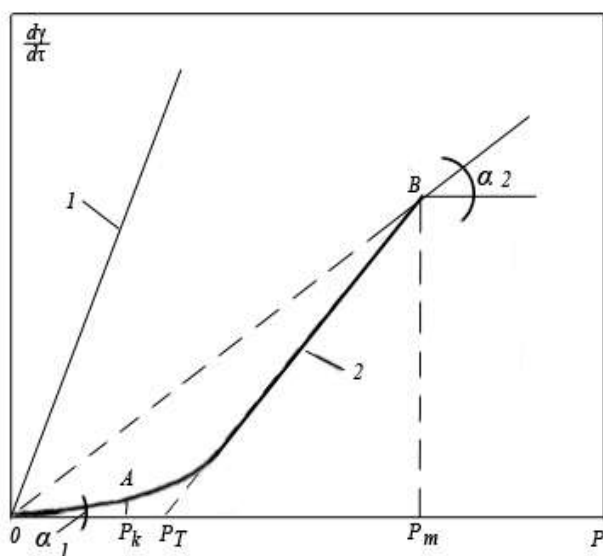
где η_0 — вязкость дисперсионной среды, Па·с; ϕ — объемная доля дисперсной фазы; α — коэффициент формы частиц (для сферических частиц $\alpha = 2,5$); $\eta_{уд}$ — удельная вязкость.

Уравнение Эйнштейна соблюдается для дисперсных систем, течение которых подчиняется закону Ньютона (ньютоновские жидкости):

$$P = \eta \frac{d\gamma}{dt} = \eta \dot{\gamma}, \text{ Па}, \quad (7.2)$$

где P — напряжение сдвига, Па; γ — деформация; $\dot{\gamma}$ — скорость деформации (течения), с^{-1} .

С увеличением концентрации дисперсной фазы возрастает взаимодействие между частицами, и обнаруживаются все более сильные отклонения от уравнения Эйнштейна. Вязкость концентрированных систем растет с концентрацией почти по экспоненте. Одновременно наблюдается зависимость вязкости от напряжения сдвига (нагрузки), и закон Ньютона перестает выполняться. Эти отклонения обычно обусловлены взаимодействием частиц и образованием структуры, в которой частицы определенным образом ориентированы относительно друг друга. Такие системы называют неньютоновскими жидкостями.



Эти отклонения обычно обусловлены взаимодействием частиц и образованием структуры, в которой частицы определенным образом ориентированы относительно друг друга. Такие системы называют неньютоновскими жидкостями.

Рисунок 3. Кривые течения ньютоновской жидкости (1) и псевдопластической структурированной жидкообразной системы (2).

Наиболее общим уравнением, описывающим течение неньютоновских жидкостей, является эмпирическое уравнение Оствальда — Вейля:

$$P = k\dot{\gamma}^n, \text{ Па} \quad (7.3)$$

где k и n — постоянные, характеризующие данную жидкообразную систему.

Если $n = 1$, жидкость является ньютоновской и константа k совпадает с ньютоновской вязкостью η . Таким образом, отклонение n от единицы характеризует степень отклонения свойств неньютоновских жидкостей от свойств ньютоновских жидкостей. При $n < 1$ ньютоновская вязкость уменьшается с увеличением скорости сдвига и напряжения. Соответственно этому жидкости называют псевдопластическими. При $n > 1$ ньютоновская вязкость растет с увеличением скорости сдвига и напряжения. Эти жидкости называют дилатантными.

На рис. 3 представлена кривая течения структурированной жидкообразной системы — реальной псевдопластической жидкости (кривая 2). Для сравнения приведена зависимость $\dot{\gamma} = f(P)$ для ньютоновской жидкости (прямая 1). На кривой течения структурированной псевдопластической жидкости имеется три характерных участка. На участке OA система ведет себя подобно ньютоновской жидкости с большой вязкостью тумаке $\eta_{\max} = ctg\alpha_1$. Такое поведение системы объясняется тем, что при малых скоростях течения структура, разрушаемая приложенной нагрузкой, успевает восстанавливаться. Медленное течение с постоянной вязкостью без прогрессирующего разрушения структуры называется ползучестью. Напряжение P_k соответствует началу разрушения структуры.

При дальнейшем увеличении напряжения (участок AB) зависимость $\dot{\gamma} = f(P)$ теряет линейный характер, при этом вязкость (ньютоновская) уменьшается. Переменные значения вязкости являются следствием разрушения структуры. В точке B кривой течения структура системы практически полностью разрушена. Напряжение, отвечающее этой точке, называется предельным напряжением на сдвиг P_m . При напряжениях $P > P_m$, когда структура разрушена, система течет подобно ньютоновской жидкости, имеющей вязкость $\eta_{\max} = ctg\alpha_2$.

Тип и свойства структур, образующихся в коллоидных системах, зависят от характера сил взаимодействия между частицами. Согласно теории структурообразования все структуры в коллоидных системах разделяются на два типа: коагуляционные и конденсационно-кристаллизационные. Коагуляционные структуры возникают за счет Ван-дер-ваальсовых сил притяжения частиц и образуются в результате коагуляции их на расстояниях, когда между частицами дисперсной фазы имеются прослойки среды. Наличие таких прослоек в местах контакта между частицами обуславливает относительно небольшую прочность

и ярко выраженные пластические свойства структур. Для коагуляционных структур характерны такие специфические свойства, как тиксотропия и реопексия. Тиксотропия — способность структурированной системы восстанавливать во времени свои прочностные свойства после ее механического разрушения. Реопексия — явление, обратное тиксотропии — возникновение и упрочнение структуры в результате механического воздействия.

В конденсационно-кристаллизационной структуре частицы дисперсной фазы связаны химическими связями. В таких структурах частицы не могут двигаться относительно друг друга, и поэтому для них характерно разрушение без обратимого восстановления. Конденсационно-кристаллизационные структуры, как правило, обладают высокой прочностью и проявляют упругие свойства. Пластические свойства их выражены значительно слабее и связаны, главным образом, с природой вещества частиц.

Обычно в коллоидных системах образуются структуры смешанного типа, характеризующиеся преобладанием в первый период коагуляционных контактов и дальнейшим упрочнением связей между частицами с переходом к структурам конденсационно-кристаллизационного типа. Такой переход от одних структур к другим часто наблюдается в процессах, сопровождающихся увеличением концентрации системы, например, при высушивании суспензий или спекании материалов с коагуляционной структурой.

Переход к конденсационным структурам обычно сопровождается уменьшением пластических свойств и ростом прочности. Большинство реальных твердых тел неорганической природы имеют кристаллизационно-конденсационные структуры.

Одним из методов изучения структур является проверка применимости к системе закона Ньютона или закона Пуазейля, который характеризует ламинарное течения жидкости по капилляру под действием приложенного, давления:

$$\frac{v}{\tau} = \frac{\pi r^4 p}{8 \eta l}, \quad (7.4)$$

где $\frac{v}{\tau}$ — объемная скорость течения, м³/с; p — приложенное давление (или напряжение на сдвиг), Па; r — радиус капилляра, м; l — длина капилляра, м; η — вязкость жидкости, Па·с.

Задачи:

1. Вычислить скорость истечения жидкости из капилляра длиной $l = 5 \cdot 10^{-2}$ м с радиусом сечения $r = 25 \cdot 10^{-5}$ м под давлением $p = 980$ Па. Вязкость жидкости $\eta = 2 \cdot 10^{-3}$ Па·с.

2. Какова вязкость глицерина, если из капилляра длиной $l = 6 \cdot 10^{-2}$ м с радиусом сечения $r = 1 \cdot 10^{-3}$ м он вытекает со скоростью $\frac{v}{\tau} = 14 \cdot 10^{-10}$ м³/с под давлением $p = 200$ Па?

3. С помощью вискозиметра исследована 95%-ная суспензия оксида цинка в органической среде. Построить реологическую кривую в координатах $\frac{d\gamma}{d\tau} = f(p)$ и определить величину предельного напряжения сдвиг P_m .

$P, \text{Па}$	40,0	44,0	48,0	52,0	56,0	60,0
$\frac{d\gamma}{d\tau}, \text{с}^{-1}$	0,455	0,566	0,675	0,782	0,890	1,00

4. Определить величину предельного напряжения на сдвиг P_m для высококонцентрированной суспензии оксида титана (IV) в органической среде по следующим экспериментальным данным, полученным с помощью вискозиметра (график строить в координатах $\frac{d\gamma}{d\tau} = f(p)$).

$P, \text{Па}$	42,0	46,0	50,0	54,0	58,0	62,0
$\frac{d\gamma}{d\tau}, \text{с}^{-1}$	0,502	0,605	0,708	0,810	0,902	1,036

5. Используя уравнение Эйнштейна, определите вязкость золя AgCl, если концентрация дисперсной фазы составляет: а) 10% (масс.), б) 10% (об.). Частицы золя имеют сферическую форму. Плотность AgCl равна 5,56 г/см³. Дисперсионная среда имеет вязкость $1 \cdot 10^{-3}$ Па·с и плотность 1 г/см³.

6. Определите вязкость золя Al₂O₃, если концентрация дисперсной фазы золя составляет: а) 8% (масс.); б) 8% (об.). Частицы имеют сферическую форму, плотность Al₂O₃ — 4,0 г/см³. Вязкость и плотность дисперсионной среды соответственно $1 \cdot 10^{-3}$ Па·с и 1 г/см³. Найти относительное увеличение вязкости.

7. Рассчитайте массовую концентрацию гидрозоль диоксида кремния, если известно, что его вязкость на 10 % больше вязкости дисперсионной среды. Части-

цы SiO_2 имеют сферическую форму, плотность их равна $2,7 \text{ г/см}^3$, плотность дисперсионной среды 1 г/см^3 .

8. Рассчитайте толщину гидратных оболочек частиц золя диоксида кремния, если экспериментальными методами установлено, что вязкость 15%-ного (масс.) золя составляет $1,3 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$, а диаметр частиц равен 16 нм. Плотности частиц дисперсной фазы золя и дисперсионной среды соответственно 2,7 и 1 г/см^3 . Вязкость дисперсионной среды $1 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$. Коэффициент формы частиц $\alpha = 2,5$.

9. Рассчитайте вязкость 50 %-ного водного раствора глицерина, если при приложении к нему напряжения 18 Па скорость развития деформации составляет $3 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$.

10. Определите диаметр сечения капиллярного вискозиметра длиной 5 см, если 3 мл ньютоновской жидкости с вязкостью $1 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ протекают через него под давлением в 100 Н/м^2 за 61 с.

Задачи для самостоятельной работы:

11. Определите вязкость машинного масла, если через капилляр длиной 6 см и диаметром 1 мм оно протекает со скоростью $2,04 \cdot 10^{-3} \text{ см}^3/\text{с}$, под давлением в 100 Па.

12. Определить вязкость глицерина, если он из вискозиметра вытекает через капилляр. Радиус капилляра $r = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, длина капилляра $l = 6 \cdot 10^{-2} \text{ м}$. Скорость течения $14 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{с}$ под давлением $P=200 \text{ Па}$.

13. Сопоставьте графически теоретические значения вязкости гидрозолей диоксида кремния, рассчитанные по уравнению Эйнштейна, с экспериментально найденными значениями:

Концентрация, % (масс.)	10	15	20	30	40
$\eta \cdot 10^3$, Па·с, при диаметре частиц 5,9 нм	1,10	1,17	1,30	1,83	2,72
$\eta \cdot 10^3$, Па·с, при диаметре частиц 21,0 нм	1,10	1,15	1,24	1,48	1,82

Определите концентрации, при которых начинается процесс структурообразования. Сделайте выводы о влиянии размера частиц золя на этот процесс. Плот-

ности дисперсной фазы золя и дисперсионной среды соответственно 2,7 и 1 г/см³. Вязкость дисперсионной среды $1 \cdot 10^{-3}$ Па·с, коэффициент формы частиц $\alpha = 2,5$.

Вопросы для самоконтроля:

1. Какие свойства системы называются реологическими?
2. Какое течение называется вязким?
3. Какому уравнению подчиняется течение жидкости в капилляре вискозиметра при ламинарном режиме течения?
4. Каким уравнением описывается течение нормальновязких жидкостей?
5. Каковы причины отступления от закона Ньютона и уравнения Пуазейля в условиях:
 - а) турбулентности потока;
 - б) тиксотропного разрушения структур, имеющих в жидкости.
6. Зависит ли вязкость текущей жидкости от приложенного к ней напряжения?
7. Начертите кривые вязкость-напряжение для нормальновязкой и структурированной систем.
8. Напишите уравнение Эйнштейна для выражения вязкости. Укажите границы его применимости.
9. Что такое относительная, удельная, приведенная и характеристическая вязкости?
10. Как вязкость дисперсной системы зависит от концентрации дисперсной фазы?

КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ. ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

Вариант 1

1. К коллоидным системам не относятся:

- а. золи; б. суспензии; в. вода; с. эмульсии.

2. Коллоидные растворы отличаются от истинных следующими особенностями:

- а. очень слабо выражены коллигативные свойства;
- б. частицы коллоидно-растворенного вещества способны проникать через ультратонкопористые мембраны;
- в. значительно выше скорость диффузии растворенного вещества;
- г. являются оптически неоднородными (рассеивающими свет) средами;
- д. растворенное вещество раздроблено до молекул (ионов);
- е. все коллоидные растворы являются термодинамически неустойчивыми неравновесными системами

Какие утверждения являются правильными?

- 1) бгв; 2) ад; 3) вга; 4) аг.

3. По какому признаку классифицируют дисперсные системы на ультрадисперсные, микрогетерогенные и грубодисперсные:

- а. по степени дисперсности;
- б. по агрегатному состоянию дисперсной фазы и дисперсионной среды;
- в. по взаимодействию дисперсной фазы и дисперсионной среды;
- г. по взаимодействию частиц дисперсной фазы.

4. Выберите верное утверждение.

- I. Коллоидными системами называют сложные многокомпонентные системы — золи, суспензии, эмульсии, аэрозоли.
 - II. Коллоидные системы обладают общими характерными признаками: гетерогенностью, определенной дисперсностью и агрегативной неустойчивостью без стабилизатора.
- а. Верно только I; б. верно только II;
в. оба неверно; г. оба верны.

5. Истинные растворы содержат:

- а. поверхность раздела фаз;
- б. частицы в виде молекул или ионов;
- в. два или несколько компонента;
- г. коллоидные частицы.

6. Свойством дисперсной фазы является _____.

7. К дисперсной системе с газообразной дисперсионной средой не относятся:
- а. смесь газов;
 - б. пена;
 - в. туман;
 - г. табачный дым;
 - д. морская пена.
8. Основным свойством свободной дисперсной системы является:
- а. высокая вязкость;
 - б. текучесть;
 - в. низкая температура кипения;
 - г. ничего из выше перечисленного.
9. Какое утверждение является (-ются) верным:
- I. Леофобными называют системы, частицы дисперсной фазы которых не взаимодействуют с дисперсионной средой, не сольватируются и не растворяются в ней.
- II. Леофильные - это системы, частицы дисперсной фазы которых интенсивно взаимодействуют с дисперсионной средой.
- а. Верно только I.
 - б. верно только II;
 - в. верно оба утверждения;
 - г. не верно оба утверждения.
10. К леофильным системам не относятся (классификации Фрейндлиха)
- а. дисперсии полимеров в воде;
 - б. водный раствор крахмала;
 - в. раствор эфира целлюлозы в воде;
 - г. золь гидроксида железа.
11. К характеристике леофобных систем по Ребиндеру не относятся:
- а. дисперсность произвольная;
 - б. большая межфазовая свободная энергия;
 - в. двухфазные коллоидные системы с низкой межфазовой свободной энергией;
 - г. значение дисперсности строго соответствует табличным значениям.
12. Выберите верное утверждение.
- I. Леофильные системы - это критические эмульсии, образующиеся в результате снижения поверхностного натяжения при нагревании до температуры, близкой к температуре неограниченного смешения, или в результате прибавления очень больших количеств ПАВ;
- II. К леофобным системам относятся коллоидные системы, образуемые в водной среде и при комнатной температуре веществами типа мыл, некоторых красителей и дубителей.
- а. Верно только I;
 - б. верно только II;
 - в. оба неверно;
 - г. оба верны.

13. Ультрамикрогетерогенные системы-

- а. прозрачны;
- б. проходят через бумажный фильтр и через мембрану;
- в. проходят через бумажный фильтр, но не через мембрану;
- г. через бумажный фильтр не проходят;
- д. при боковом освещении опалесцируют;
- е. мутные.

14. Какую величину обозначают как $D=1/a$?

- а. Удельную поверхность;
- б. поверхностное натяжение;
- в. дисперсность.

15. Численная концентрация определяет

- а. число частиц дисперсной фазы в единицу объема дисперсной системы;
- б. число частиц, которые покрывают дисперсную фазу;
- в. массу дисперсной фазы в единице объема дисперсной системы;
- г. объем дисперсной фазы.

16. Вставьте недостающие определения и формулы.

А	$v_{o.б.} = V_{д.ф.}/V_{д.с.}$
Численная концентрация	$v_{ч} = N/V_{д.с.}$
Массовая концентрация	Б

17. Уравнение изотермы мономолекулярной адсорбции Ленгмюра имеет вид:

- а. $X = \frac{1}{\Gamma_{\infty} N}$;
- б. $X = \frac{A_{\infty} K_c}{1 + K_c}$;
- в. $X = \frac{\Gamma_{\infty} M}{\rho}$;
- г. $X = S_m \Gamma_{\infty} N$.

18. Укажите потенциалоопределяющий ион в золе AgJ , если он получен взаимодействием $AgNO_3$ и KJ при избытке KJ .

- а. Ag^+ ;
- б. K^+ ;
- в. J^- ;
- г. NO_3^- .

19. Что такое 1) электрофорез 2) электроосмос 3) потенциал седиментации 4) потенциал течения?

а) течение жидкости в капилляре под действием электрического поля;	в) движение частиц дисперсной фазы под действием электрического поля;
б) возникновение ЭДС при оседании частиц;	г) возникновение ЭДС при течении жидкости через капиллярно-пористое тело.

Выберите правильный ответ:

1) 1а; 2б; 3в; 4г	3) 1б; 2г; 3а; 4в
2) 1в; 2а; 3б; 4г	

20. В каких единицах измеряется вязкость в системе СИ?

- а. Пуазах;
- б. Паскалях;
- в. Паскаль секундах.

Вариант 2

1. Золи, суспензии, эмульсии, аэрозоли - ... системы.

2. Выберите верное утверждение.

I. Коллоидными системами называют монокомпонентные системы— растворы, смеси.

II. Коллоидные системы обладают общими характерными признаками: гетерогенностью, определенной дисперсностью и агрегативной неустойчивостью без стабилизатора.

- а. Верно только I;
- б. верно только II;
- в. оба неверно;
- г. оба верны.

3. В каких пределах колеблется радиус частиц коллоидных систем (м)?

- а. $10^{-9} — 10^{-5}$;
- б. $10^9 — 10^5$;
- в. $10^{-20} — 10^{-50}$.

4. Гомогенная система –

а. система, химический состав и физические свойства которой во всех частях одинаковы или меняются непрерывно;

б. система, состоящая из однородных частей, разделённых поверхностью раздела;

в. совокупность тел, энергетически взаимодействующих между собой и с другими телами, обменивающихся с ними веществом.

5. Что из данного списка не относится к гомогенной системе:

- а. насыщенный раствор с осадком;
- б. сплав металлов;
- в. уксусная кислота;
- г. лед.

6. Коллоидные системы состоят из:

- а. дисперсной поверхности;
- б. дисперсной фазы;
- в. компонентов, распределенных друг в друге;
- г. дисперсионной среды.

7. Величина, показывающая какое число частиц можно уложить вплотную в одном кубическом метре –

- а. непрерывность;
- б. коагуляция;
- в. дисперсность.

8. К системам с газообразной дисперсной средой относятся:

- а. табачный дым, облако;
- б. табачный дым, сапфир;
- в. облако, молоко;
- г. сплавы металлов, молоко.

9. Основным свойством связнодисперсных систем является:

- а. высокая вязкость;
- б. низкая температура кипения;
- в. текучесть;
- г. ничего из выше перечисленного.

10. *Лиофильные системы – это системы, в которых частицы дисперсной фазы:*

- а. не растворяются в дисперсной среде;
- б. не диффундируют на границе дисперсной среды;
- в. не сольватируются с частицами дисперсной среде;
- г. активно взаимодействуют с частицами дисперсной среды;
- д. осаждаются на дне дисперсной среды.

11. *К лиофильным системам относятся (классификации Фрейндлиха)*

- а. пемза;
- б. раствор золота в воде;
- в. табачный дым;
- г. раствор камеди в воде.

12. *К лиофобным системам по Ребиндеру отнесли коллоидные системы с:*

- а. высоким межфазовым натяжением;
- б. низкой дисперсностью;
- в. с очень малой межфазовой энергией;
- г. с малым количеством частиц.

13. *Выберете верное утверждение.*

I. Лиофильные системы - критические эмульсии, образующиеся в результате снижения поверхностного натяжения при нагревании до температуры, близкой к температуре неограниченного смешения, или в результате прибавления очень больших количеств ПАВ.

II. К лиофобным системам относятся ассоциативные коллоидные системы, образуемые в водной среде веществами типа мыл, некоторых красителей и дубителей, а в неводной среде некоторыми ПАВ.

- а. Верно только I;
- б. верно только II;
- в. оба неверно;
- г. оба верны.

14. *Основными признаками грубодисперсной системы являются:*

- а. мутные;
- б. прозрачные;
- в. через фильтр проходят;
- г. проходят через фильтр, но не через мембрану;
- д. через фильтр не проходят;
- е. при боковом освещении опалесцируют.

15. *Какую формулу используют для определения удельной поверхности для кубических частиц:*

- а. $S_{уд} = \frac{4r^2}{\frac{4}{3}r^3} = \frac{3}{r} = \frac{6}{d} = 6D$; б. $S_{уд} = \frac{6}{d} = 6D$; в. $S_{уд} = \frac{2\pi rh}{\pi r^2 h} = \frac{2}{r} = \frac{4}{d} = 4D$.

16. Массовая концентрация определяет

- а. число частиц дисперсной фазы в единицу объема дисперсной системы;
- б. число частиц, которые покрывают дисперсную фазу;
- в. объём дисперсной фазы;
- г. массу дисперсной фазы в единице объёма дисперсной системы.

17. Установите соответствие

ТИП КОНЦЕНТРАЦИИ

- 1. массовая
- 2. численная
- 3. объемная

ФОРМУЛА

- а. $\nu = V_{\text{д.ф.}}/V_{\text{д.с}}$
- б. $\nu = N/V_{\text{д.с}}$
- в. $\nu = m_{\text{д.ф.}}/V_{\text{д.с}}$

18. Адсорбция – это

- а. самопроизвольное распределение компонентов системы между поверхностным слоем и объемной фазой;
- б. взаимодействие между приведенными в контакт поверхностями конденсированных тел разной природы;
- в. самопроизвольный процесс выравнивания химических потенциалов компонентов в объеме фаз и в поверхностном слое;
- г. самопроизвольное концентрирование газообразного или растворенного компонента гетерогенной системы в поверхностном слое;
- д. изменение концентрации компонента в поверхностном слое по сравнению с объемной фазой, отнесенное к единице площади поверхности.

Какая комбинация этих определений содержит только правильные утверждения?

1) АБВ;	3) БВГ;	2) АВГД;	4) ГДБ
---------	---------	----------	--------

19. Какой будет заряд частиц, если гидрозоль сульфида мышьяка (III) получен пропусканием избытка сероводорода через раствор мышьяковистой кислоты: $2 \text{H}_2\text{AsO}_3 + 3 \text{H}_2\text{S} = \text{As}_2\text{S}_3 \downarrow + 6 \text{H}_2\text{O}$?

- а. положительный (вследствие адсорбции ионов H^+);
- б. отрицательный (вследствие адсорбции ионов HS^-);
- в. заряд отсутствует.

20. Как располагаются в пространстве противоионы по теории Штерна?

- а. рассеяны в пространстве на некотором расстоянии от границы раздела фаз, образуя диффузный слой;
- б. расположены вблизи границы раздела фаз, образуя плоский конденсатор;
- в. часть противоионов находится вблизи границы раздела фаз, образуя адсорбционный слой, часть рассеяна в пространстве, образуя диффузный слой противоионов.

Вариант 3

1. Выберите верное утверждение

I. Коллоидными системами называют сложные многокомпонентные системы — золи, суспензии, эмульсии, аэрозоли,.

II. Коллоидные системы обладают общими характерными признаками: гетерогенностью, определенной дисперсностью и агрегативной неустойчивостью без стабилизатора.

- а. Верно только I; б. верно только II;
в. оба неверно; г. оба верны.

2. По какому признаку классифицируют дисперсные системы на лиофильные и лиофобные :

- а. по степени дисперсности;
б. по агрегатному состоянию дисперсной фазы и дисперсионной среды;
в. по взаимодействию дисперсной фазы и дисперсионной среды;
г. по взаимодействию частиц дисперсной фазы.

3. Гетерогенная система –

- а. система, химический состав и физические свойства которой во всех частях одинаковы или меняются непрерывно;
б. система, состоящая из однородных частей, разделённых поверхностью раздела;
в. совокупность тел, энергетически взаимодействующих между собой и с другими телами, обменивающихся с ними веществом.

4. Примерами гетерогенной системы являются

- а. вода с находящимся над ней паром и талая вода;
б. уксусная кислота в фарфоровой посуде и сплав металлов;
в. насыщенный раствор с осадком и вода с находящимся над ней паром.

5. Коллоидные растворы являются промежуточными (переходными) между истинно гомогенными и истинно гетерогенными системами, так как сочетают в себе признаки тех и других:

- а. частицы дисперсной фазы участвуют в тепловом (броуновском) движении;
б. коллоидные растворы обнаруживают коллигативные свойства;
в. частицы коллоидно-растворенного вещества являются фазовыми частицами, имеют поверхность раздела с окружающей средой;
г. термодинамические свойства коллоидно-дисперсной фазы (химический потенциал, давление насыщенного пара, растворимость и др.) зависят от размера частиц.

Какие из перечисленных признаков отличают коллоидные растворы от истинно гетерогенных систем?

1) АБГ;	2) АГ;	3) АВГ;	4) ВГ
---------	--------	---------	-------

6. *Какая из классификаций не относится к коллоидным системам:*
- а. по дисперсности;
 - б. по агрегатному состоянию;
 - в. по характеру межфазного взаимодействия;
 - г. по количеству частиц в системе.

7. *T/Г означает, что в данной системе:*

- а. жидкая дисперсионная среда;
- б. газообразная дисперсионная среда;
- в. твердая дисперсионная среда.

8. *Какая классификация основывается на отсутствии или наличии взаимодействия между частицами дисперсной фазы:*

- а. по дисперсности;
- б. по агрегатному состоянию;
- в. по характеру межфазного взаимодействия.

9. *Лиофобные системы – это системы, в которых частицы дисперсной фазы:*

- а. не растворяются в дисперсной среде;
- б. не диффундируют на границе дисперсной среды;
- в. не сольватируются в дисперсной среде;
- г. активно взаимодействуют с частицами дисперсной среды;
- д. осаждаются на дне дисперсной среды.

10. *Дополните предложение.*

Чтобы не менять смысла терминов, которые ввел Фрейндлих, _____ предложил оформить понятия лиофильные и лиофобные коллоидные системы. Дисперсные много-или двухфазные системы он разделил на два класса, исходя из величины _____.

11. *Выберете верное утверждение.*

I. Лиофильные системы - это критические эмульсии, образующиеся в результате повышения поверхностного натяжения при нагревании до температуры абсолютного нуля;

II. К лиофильным системам так же относятся ассоциативные коллоидные системы, образуемые в водной среде веществами типа мыл, некоторых красителей и дубителей, а в неводной среде некоторыми ПАВ.

- а. Верно только I;
- б. верно только II;
- в. оба неверно;
- г. оба верны.

12. *Причиной несимметричного силового поля молекул в поверхностном слое является....*

- а. тепловое движение молекул;

- б. электростатическое отталкивание;
- в. некомпенсированность межмолекулярного взаимодействия со стороны разных фаз;
- г. кривизна поверхности раздела фаз.

13. Каким количеством величин можно охарактеризовать размеры анизодиаметрических частиц:

- а. 2; б. 1; в. 3.

14. Дайте характеристику молекулярно-дисперсным системам (размер частиц, прозрачность, прохождение через фильтры).

15. Какими параметрами характеризуется величина дисперсности частиц дисперсной фазы? _____.

16. Дайте определение понятию.

Дисперсность- $D=1/a$ _____.

17. Какую формулу используют для определения удельной поверхности для цилиндрических частиц:

- а. $S_{yo} = \frac{2\pi rh}{\pi r^2 h} = \frac{2}{r} = \frac{4}{d} = 4D$; б. $S_{yd} = \frac{6}{d} = 6D$; в. $S_{yd} = \frac{4r^2}{\frac{4}{3}r^3} = \frac{3}{r} = \frac{6}{d} = 6D$.

18. Установите соответствие

КОНЦЕНТРАЦИЯ	ОПРЕДЕЛЕНИЕ
1.Численная	а. какая часть объема дисперсной системы занимает объем дисперсной фазы и является безмерной;
2. Массовая	б. массу дисперсной фазы в единице объёма дисперсной системы;
3. Объёмная	в. число частиц дисперсной фазы в единицу объема дисперсной системы.

19. Гидрозо́ль иодида серебра получен по реакции: $AgNO_3 + KI = AgI + KNO_3$ в присутствии избытка $AgNO_3$. Укажите формулу мицеллы золя.

- а. $\{m[AgI] \ n Ag^+(n-x)NO_3^-\} \ x NO_3^-$; б. $\{m[AgI] \ n I^-(n-x)K^+\} \ x K^+$;
- в. $\{m[AgI] \ n NO_3^-(n-x)Ag^+\} \ x Ag^+$.

20. Какой потенциал называют электрокинетическим?

- а. потенциал на границе раздела фаз;
- б. потенциал на границе скольжения;
- в. потенциал на границе адсорбционного и диффузионного слоев;
- г. потенциал ДЭС на расстоянии от границы раздела фаз, равном эффективной толщине диффузной части ДЭС.

Вариант 4

1. Коллоидными системами называют сложные многокомпонентные системы — золи, суспензии, эмульсии, аэрозоли, — обладающие общими характерными признаками: _____.

2. В каких пределах колеблется радиус частиц коллоидных систем (м)?

- а. $10^{-9} — 10^{-5}$; б. $10^9 - 10^5$; в. $10^{-20} — 10^{-50}$.

3. Гетерогенной системой называют

I. Система, в которой есть поверхность раздела фаз

II. Система, в которой есть скачкообразные изменения свойств (состав, плотность и т.д.)

- а. Верно только I; б. верно только II; в. верны оба утверждения.

4. Примером гетерогенной системы являются

- а. вода с находящимся над ней паром и талая вода;
б. уксусная кислота в фарфоровой посуде и сплав металлов;
в. насыщенный раствор с осадком и вода с находящимся над ней паром.

5. Величина, показывающая какое число частиц можно уложить в плотную в одном кубическом метре — это ...

- а. непрерывность; б. коагуляция; в. дисперсность.

6. Коллоидные системы классифицируют :

- а. по дисперсности;
б. по агрегатному состоянию;
в. по характеру межфазного взаимодействия;
г. по количеству частиц в системе.

7. Г/Ж означает, что в данной системе:

- а. жидкая дисперсионная среда;
б. газообразная дисперсионная среда;
в. твердая дисперсионная среда.

8. Классификация коллоидных систем на свободнодисперсные и связнодисперсные основывается на:

- а. в зависимости от состояния дисперсионной среды;
б. отсутствии или наличии взаимодействия между частицами дисперсной фазы;
в. такой классификации не существует;

г. наличии противодействующих сил дисперсной среды и дисперсной фазой.

9. К лиофобным системам не относятся (классификации Фрейндлиха)

- а. раствор камеди; б. этиловый эфир;
в. золи металлоидов; г. морская пена.

10. Какая система образуется самостоятельно и термодинамически неустойчивая?

- а. лиофобная; б. лиофильная;
в. никакая из выше перечисленных.

11. Выделите из приведенных характеристик те, которые относятся к лиофобным дисперсным системам:

- а. дисперсная фаза и дисперсионная среда сильно различаются по природе (полярности), характеру межатомных (межмолекулярных) взаимодействий;
б. межмолекулярные силы сильно не скомпенсированы на поверхности раздела фаз;
в. поверхностное натяжение на границе раздела фаз имеет очень низкое значение ($\sigma \rightarrow 0$);
г. при образовании дисперсной системы энергия диспергирования не компенсируется энергией межмолекулярного взаимодействия на образующейся поверхности и возрастанием энтропии;
д. система возникает в результате самопроизвольного диспергирования, при этом изменение энергии Гиббса $\Delta G < 0$;
е. система термодинамически неустойчива, требуется наличие специального стабилизатора для предотвращения ее разрушения (коагуляции)

1) АД;	2) АБГЕ;	3) АВЕ;	4) БДЕ
--------	----------	---------	--------

12. Дайте характеристику грубодисперсным системам (размер частиц, прозрачность, прохождение через фильтры).

13. Выберите верное утверждение.

I. Для двухмерных частиц, как и для одномерных дисперсность характеризуют двумя размерами, которые определяют в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

II. Для трехмерных частиц характерные размеры и дисперсность частиц определяют в пяти взаимно перпендикулярных направлениях.

- а. Верно только I; б. верно только II;
в. оба неверно; г. оба верны.

14. Какую формулу используют для определения удельной поверхности для сферических частиц:

а. $S_{уд} = \frac{2\pi rh}{\pi r^2 h} = \frac{2}{r} = \frac{4}{d} = 4D$; б. $S_{уд} = \frac{6}{d} = 6D$; в. $S_{уд} = \frac{4r^2}{\frac{4}{3}\pi r^3} = \frac{3}{r} = \frac{6}{d} = 6D$.

15. Вставьте недостающие определения и формулы

Объемная концентрация	во.б. = $V_{д.ф.}/V_{д.с}$
Численная концентрация	Б
А	$\nu_m = M_{д.ф.}/V_{д.с}$

16. $\sigma_x = \sigma_0 \cdot n_x/n_0$ - формула для расчета поверхностного натяжения по одному из приведенных ниже методов (какому?). (σ_0 – поверхностное натяжение стандартной жидкости, n_x и n_0 - показания прибора для изучаемой и стандартной жидкости):

- а. по высоте капиллярного поднятия;
- б. по силе отрыва кольца (метод Дю-Нуи);
- в. по величине максимального давления в газовых пузырьках (метод Ребиндера);
- г. по методу счета капель.

17. Установите соответствие:

(1) гиббсовская адсорбция;	(А) $X = \frac{1}{\Gamma_{\infty} N}$
(2) площадь, занимаемую одной молекулой в насыщенном адсорбционном слое:	(Б) $X = \frac{\Gamma_{\infty} M}{\rho}$
(3) толщина монослоя;	(В) $X = \frac{A_{\infty} Kc}{1+Kc}$
(4) удельная поверхность адсорбента	(Г) $X = S_m \Gamma_{\infty} N_A$;
(5) ленгмюровская адсорбция	(Д) $X = -\frac{d\sigma}{dc} \cdot \frac{c}{RT}$

18. Каковы возможные причины возникновения ДЭС на поверхности частиц гидрозоля кремнезема в воде?

- а. адсорбция ионов стабилизатора;
- б. ионизация поверхностного слоя;
- в. достраивание кристаллической решетки ионами из раствора.

19. Какой вид имеет уравнение Гельмгольца-Смолуховского, связывающее величину ζ -потенциала и скорость электрофореза (электроосмоса)?

а. $U = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 \zeta H}{\eta}$; б. $U = \frac{\zeta H}{\varepsilon \varepsilon_0}$; в. $U = \frac{\eta}{\varepsilon \varepsilon_0 \zeta H}$.

20. Порог быстрой коагуляции - это концентрация электролита ($C_{эл}$), при которой

- а. скорость коагуляции перестает зависеть от $C_{эл}$;

- б. потенциальный барьер отталкивания становится равным нулю и все столкновения становятся эффективными;
в. справедливы оба утверждения.

Вариант 5

1. *Какие из предложенных систем относятся к дисперсным?*

- | | |
|-----------------------------------|----------------|
| а. водный раствор хлорида натрия; | б. майонез; |
| в. мыльная пена; | г. бензол; |
| д. туман; | е. шампанское; |
| ж. кристаллы льда. | |

2. *Что из данного списка не относится к гомогенной системе:*

- | | |
|----------------------------------|--------------------|
| а. насыщенный раствор с осадком; | б. сплав металлов; |
| в. уксусная кислота; | г. лед. |

3. *Истинные растворы состоят из:*

- | |
|--|
| а. мицелл; |
| б. молекул и ионов; |
| в. компонентов, распределенных друг в друге; |
| г. нескольких фаз. |

4. *Дисперсность — это ...*

- | |
|---|
| а. физическая величина, характеризующая размер взвешенных частиц в дисперсных системах; |
| б. это процесс разрушения дисперсной системы под действием внешних факторов, сопровождающийся самопроизвольным переходом дисперсной фазы в осадок или гель; |
| в. самопроизвольное слияние капель жидкой или газообразной дисперсной фазы в коллоидных системах. |

5. *К истинным растворам не относятся:*

- | | |
|------------------------|----------------|
| а. молекулярные; | б. ионные; |
| в. молекулярно-ионные; | г. коллоидные. |

6. *Перечислите все виды дисперсных систем для классификации по агрегатному состоянию._____.*

7. *В каком случае дисперсная среда становится второй дисперсной фазой?*

- | |
|--|
| а. когда дисперсность дисперсной среды увеличивается (пены, пено-сласты и т.д.); |
|--|

б. когда дисперсность дисперсной среды постоянна на протяжении долгого времени;

в. такого не происходит.

8. Кто из ученых предложил классификацию по лиофильным и лиофобным системам?

а. Менделеев;

б. Фрейндлих;

в. Ребиндер;

г. Оствальд.

9. Выберите верное утверждение.

I. Леофильные системы - это критические эмульсии, образующиеся в результате снижения поверхностного натяжения при нагревании до температуры, близкой к температуре неограниченного смешения, или в результате прибавления очень больших количеств ПАВ.

II. К лиофобным системам относятся коллоидные системы, образуемые в водной среде и при комнатной температуре веществами типа мыл, некоторых красителей и дубителей.

а. Верно только I;

б. верно только II;

в. оба неверно;

г. оба верны.

10. По какому признаку классифицируют дисперсные системы на свободно- и связнодисперсные:

а. по степени дисперсности;

б. по агрегатному состоянию дисперсной фазы и дисперсионной среды;

в. по взаимодействию дисперсной фазы и дисперсионной среды;

г. по взаимодействию частиц дисперсной фазы.

11. Каким количеством параметров можно охарактеризовать форму частиц в виде шара?

а. 2;

б. 1;

в. 3.

12. Дайте характеристику ультрамикроретерогенным системам (размер частиц, прозрачность, прохождение через фильтры).

13. Какие из перечисленных свойств не относятся к дисперсной системе:

а. диапазон размера частиц;

б. концентрация дисперсионной среды;

в. концентрация дисперсной фазы;

г. термодинамической устойчивостью;

д. положительной межфазовой свободной энергией.

14. Выберите верное утверждение.

I. Для трехмерных частиц (капли, пузырьки) характерные размеры и дисперсность частиц определяют в трех взаимно перпендикулярных направлениях.

II. Для одномерных дисперсных фаз (мембраны, пленки) только один размер a определяет дисперсность — это поперечный размер частицы, толщина мембраны или пленки, а два других размера характеризуют габаритные размеры самого тела.

- а. Верно только I; б. верно только II;
в. оба неверно; г. оба верны.

15. Для каждой формы частиц есть своя формула удельной поверхности?

- а. да, действительно;
б. нет, для любой формы общая формула.

16. Вставьте недостающие определения и формулы

Частицы сферической формы	Б
А	$S_{уд} = 4/d = 4D$
Частицы кубической формы	$S_{уд} = 6/l = 6D$

17. Объёмная концентрация определяет

- а. число частиц дисперсной фазы в единицу объема дисперсной системы;
б. какая часть объема дисперсной системы занимает объем дисперсной фазы и является безмерной;
в. массу дисперсной фазы в единице объема дисперсной системы.

18. Поверхностно-активные вещества положительно адсорбируются на поверхности водных растворов, так как

- а. полярные группы молекул ПАВ гидратированы;
б. силы межмолекулярного притяжения полярных молекул воды между собой ($H_2O - H_2O$) больше, чем между молекулами воды и неполярными углеводородными радикалами ПАВ ($R - H_2O$);
в.) ПАВ повышают поверхностное натяжение растворов;
г. переход углеводородных радикалов молекул ПАВ в неполярную фазу энергетически выгоден.

1) БВ;	2) ВГ;	3) АВ;	4) БГ
--------	--------	--------	-------

19. Порог коагуляции - это наименьшая концентрация электролита, при которой

- а. становится возможной коагуляция, т.к. потенциальный барьер отталкивания становится меньше энергии теплового движения;
б. все столкновения частиц становятся эффективными;
в. справедливы оба утверждения.

20. Уравнение Эйнштейна, устанавливающее зависимость коэффициента диффузии от размера коллоидных частиц, имеет вид:

а. $\overline{\Delta^2} = 2Dt$ б. $D = kT/6\pi\eta r$ в. $dm = -D \cdot (dc/dx) Sdt$.

Вариант 6

1. Какие из предложенных систем относятся к дисперсным?

- а. Водный раствор сульфата магния; б. молоко;
в. шампунь; г. толуол;
д. дым; е. спирт;
ж. пары воды.

2. Золи, суспензии, эмульсии, аэрозоли - ... системы.

3. В каких пределах колеблется радиус частиц коллоидных систем (м)?

- а. $10^{-9} — 10^{-5}$; б. $10^{-9} - 10^{-5}$; в. $10^{-20} — 10^{-50}$.

4. Дисперсность - ...

I. физическая величина, характеризующая размер взвешенных частиц в дисперсных системах;

II. физическая величина, характеризующаяся количеством взвешенных частиц в дисперсных системах.

- а. Верно только I; б. верно только II;
в. оба неверно; г. оба верны.

5. Ж/Т означает, что в данной системе:

- а. жидкая дисперсионная среда;
б. газообразная дисперсионная среда;
в. твердая дисперсионная среда.

6. Выберите ответ, в котором оба варианта не относятся к системе с жидкой дисперсной средой:

- а. эмульсии, аэрозоли; б. твердые золи, гели;
в. сплавы, облака; г. пены, пасты.

7. Связнодисперсные системы образуют структуры, которые похожи на:

- а. пузыри в воде; б. эмульсии;
в. пленку; г. каркасы/сетки.

8. К лиофобным системам относятся (классификации Фрейндлиха):

- а. раствор крахмала;

- б. золи сульфидов мышьяка;
- в. коллоидный раствор золота;
- г. пемза.

9. Какой размер имеют частицы в ультрамикроретерогенных (коллоидных) системах (м)?

- а. $10^{-7} - 10^{-5}$ м;
- б. $10^{-5} - 10^{-3}$ м;
- в. $10^{-9} - 10^{-7}$ м;
- г. 10^{-9} м.

10. Мицеллы – это ...

- а. частицы не имеющие заряда;
- б. частицы коллоидного размера, образующиеся в ходе введения растворителя;
- в. частицы коллоидного размера, образующиеся в ходе агрегации молекул.

11. Дайте характеристику микроретерогенным системам (размер частиц, прозрачность, прохождение через фильтры).

12. Выберите ответ, в котором оба варианта подходят под понятие трехмерные частицы:

- а. мембраны, капли;
- б. капли, пузырьки;
- в. нити, капли;
- г. волокна, поры.

13. Какую величину обозначают как $S_{уд}$?

- а. поверхностное натяжение;
- б. дисперсность;
- в. удельную поверхность.

14. Что обозначает β в формуле удельной поверхности для общего случая?

- а. коэффициент формы частиц;
- б. коэффициент количества частиц в определенном объеме;
- в. коэффициент коагуляции частиц.

15. Вставьте недостающие определения и формулы

Объемная концентрация	Б
А	$v_{\text{ч}} = N/V_{\text{д.с.}}$
Массовая концентрация	$v_{\text{м}} = M \partial. \phi. / V \partial. \text{с.}$

16. Установите соответствие.

1. поверхностно-активные вещества	(А) $d\sigma/dc = 0$, $\Gamma = 0$;
2. поверхностно-инактивные вещества	(Б) $d\sigma/dc < 0$, $\Gamma > 0$;
3. поверхностно-неактивные вещества	(В) $d\sigma/dc > 0$, $\Gamma < 0$,

17. Гидрозо́ль хлорида железа (III) получен по реакции: $FeCl_3 + 3 H_2O \leftrightarrow Fe(OH)_3 \downarrow + 3 HCl$. В результате образуется мицелла, строение которой можно выразить формулой $\{m[Fe(OH)_3] nFeO^+ (n-x)Cl^- \} xCl^-$.

Укажите составляющие части мицеллы:

1) ядро мицеллы	а) $m[Fe(OH)_3]$;
2) потенциалопределяющие ионы	б) xCl^- ;
3) противоионы от частицы до границы скольжения	в) $(n-x)Cl^-$;
4) противоионы диффузной части ДЭС	г) $nFeO^+$.

18. Зо́ль AgJ получен взаимодействием $AgNO_3$ и KJ при избытке $AgNO_3$. Какой ион будет потенциалопределяющим?

а. Ag^+ ; б. K^+ ; в. J^- ; г. NO_3^-

19. Течение идеально вязкой жидкости согласно Ньютону описывается уравнением:

а. $\tau - \tau^* = \eta_v \cdot du/dx$; б. $\tau = \eta \cdot du/dx$; в. $\eta_{уд} = (\eta - \eta_0)/\eta_0$.

20. Какое из оптических явлений невозможно в коллоидно-дисперсных системах?

а. дифракция света;
б. отражение света от поверхности частиц;
в. поглощение света.

Вариант 7

1. Какие из предложенных систем относятся к дисперсным?

- | | | |
|------------|------------|-------------|
| а. Вода; | б. молоко; | в. шампунь; |
| г. толуол; | д. пыль; | е. Кисель; |
| ж. пемза. | | |

2. К характерным признакам коллоидной системы не относятся:

- а. гетерогенность;
- б. определенная дисперсность;
- в. агрегативная неустойчивость;
- г. нет поверхности раздела фаз.

3. Выберите верное утверждение.

I. Примеры простейших гетерогенных систем — вода с находящимся над ней паром, насыщенный раствор с осадком и т. д.;

II. В гетерогенных системах реакция может идти только на поверхности фаз, в то время как в гомогенной системе она идёт во всём объёме.

- а. верно только I;
- б. верно только II;
- в. верно оба;
- г. неверно оба.

4. Что из данного списка относится к гомогенным системам:

- а. лед;
- б. насыщенный раствор с осадком;
- в. уксусная кислота;
- г. сплав металлов.

5. Истинные растворы состоят из:

- а. мицелл;
- б. дисперсной фазы и дисперсионной среды;
- в. молекул и ионов;
- г. любых частиц.

6. Величина, показывающая какое число частиц можно уложить в плотную в одном кубическом метре –

- а. удельная поверхность;
- б. частичная концентрация;
- в. дисперсность.

7. К дисперсным системам относятся:

- а. эмульсии;
- б. молекулярные растворы;

- в. ионные растворы; г. аэрозоли;
 д. гели; е. суспензии.

8. К классификации по агрегатному состоянию не относятся:

- а. система с жидкой дисперсионной средой;
 б. система с газообразной дисперсионной средой;
 в. система с желеобразной дисперсионной средой;
 г. система с твердой дисперсионной средой.

9. Выберите ответ, в котором оба варианта не относятся к системе с твёрдой дисперсной средой:

- а. коллоидный раствор золота, пемза;
 б. твёрдые пены, некоторые виды адсорбентов;
 в. туман, газ в критическом состоянии;
 г. сплавы металлов, твердые золи.

10. Основным свойством связнодисперсной системы является:

- а. способность сохранять форму;
 б. способность не отдавать тепло;
 в. способность к испарению;
 г. верного ответа нет.

11. К растворам ВМС Фрейншлих относил:

- а. раствор соли в воде;
 б. раствор белка;
 в. растворы электролитов;
 г. раствор эфиров целлюлозы;
 д. раствор золота.

12. Установите соответствие между системой и ее свойством.

СВОЙСТВО	СИСТЕМА
а. очень маленькая межфазовая энергия	1. лиофобная
б. термодинамически устойчивая	2. лиофильная
в. резко выраженная граница фаз	
г. производная дисперсность	
д. дисперсность находится в коллоидной области	
е. агрегативно неустойчива	

13. Выберите верное утверждение.

І. Концентрацию вещества в растворе, при которой происходит переход от истинного раствора к коллоидному, принято называть синерезис.

ІІ. Дисперсность – это физическая величина, характеризующая количество частиц в фазах.

- а. верно только I;
- б. верно только II;
- в. оба неверно;
- г. оба верны.

14. Дайте характеристику грубодисперсным системам (размер частиц, прозрачность, прохождение через фильтры).

15. Выберите ответ, в котором оба варианта подходят под понятие двумерные частицы:

- а. нити, пленки;
- б. пленка, капилляр;
- в. волокна, поры;
- г. капли, мембраны.

16. Удельная поверхность – межфазная поверхность, приходящаяся на единицу объема или массы дисперсной фазы, обозначается как:

- а. $S_{уд}$;
- б. $D=6/d$;
- в. $D=1/a$.

17. Вставьте недостающие определения и формулы.

А	$v_{о.б.} = V_{д.ф.}/V_{д.с.}$
Численная концентрация	$v_{ч} = N/V_{д.с.}$
Массовая концентрация	Б

18. Как ориентируются олеат-анионы $RCOO^-$ на поверхности частиц латекса полистирола из водной фазы?

- а. полярная группа закрепляется на поверхности частицы (взаимодействует с поверхностными атомами твердой фазы), а углеводородный радикал обращается в сторону водной фазы;
- б. углеводородный радикал располагается на поверхности частицы, а полярная группа втягивается в водную фазу;
- в. молекулы располагаются хаотично.

19. Золь $AgCl$ получен взаимодействием $AgNO_3$ и KCl при избытке KCl . Какой ион будет потенциалоопределяющим?

- а. Ag^+ ;
- б. K^+ ;
- в. Cl^- ;
- г. NO_3^- .

20. Каков механизм броуновского движения частиц в дисперсионной среде?

- а. частицы движутся в гравитационном поле;
- б. молекулы среды сталкиваются с частицами и передают им импульс
- в. частицы сталкиваются между собой и передают импульс в произвольном направлении.

Вариант 8

1. Выберите верное утверждение.

I. Коллоидными системами называют монокомпонентные системы;

II. КС обладают общими характерными признаками: гетерогенностью, определенной дисперсностью и агрегативной неустойчивостью без стабилизатора.

- а. верно только I;
- б. верно только II;
- в. оба неверно;
- г. оба верны.

2. К характерным признакам коллоидной системы не относятся:

- а. гетерогенность;
- б. определенная дисперсность;
- в. агрегативная неустойчивость;
- г. нет поверхности раздела фаз.

3. Что из данного списка не относится к гомогенной системе?

- а. насыщенный раствор с осадком;
- б. сплав металлов;
- в. уксусная кислота;
- г. лед.

4. Обязательным свойством дисперсионной среды является

5. К дисперсным системам не относятся:

- а. эмульсии;
- б. молекулярные растворы;
- в. ионные растворы;
- г. аэрозоли;
- д. гели;
- е. суспензии.

6. Все коллоидные системы по классификации Освальда и Зигмонди:

I. Делятся на три группы: система с газообразной, жидкой и желеобразной дисперсионной средой;

II. Делятся на три группы: система с газообразной, твердой и жидкой дисперсионной средой.

- а. обо утверждения неверно;
- б. верно только I;
- в. обо утверждения верно;
- г. верно только II.

7. К системе с твёрдой дисперсной средой можно отнести:

- а. коллоидный раствор золота, молоко;
- б. твёрдые пены, некоторые виды адсорбентов;
- в. туман, газ в критическом состоянии;
- г. сплавы металлов, коллоидный раствор висмута.

8. К свободnodисперсным системам относятся (назовите не менее 2х) _____.

9. Установите соответствие между системой и веществом (классификации Фрейндлиха).

ВЕЩЕСТВО	СИСТЕМА
а. пектины	1. лиофобная
б. смолы	2. лиофильная
в. золи металлов	
г. золь гидроксида железа	
д. камедь	
е. полистирол	

10. Дайте определение.

ВМС – это _____.

11. Выберите верное утверждение.

I. Концентрацию вещества в растворе, при которой происходит переход от истинного раствора к коллоидному, принято называть критической концентрацией мицеллообразования;

II. Дисперсность – это физическая величина, характеризующая размер частиц дисперсной фазы в дисперсных системах.

- а. верно только I;
- б. верно только II;
- в. оба неверно;
- г. оба верны.

12. Основными признаками молекулярно-дисперсной системы являются:

- а. прозрачные, при боковом освещении опалесцируют;
- б. прозрачные без опалесценции;
- в. не проходят через фильтр и через мембрану;
- г. мутные;
- д. проходят через фильтр и через мембрану.

13. Коллоидную систему по-другому называют:

- а. дисперсной;
- б. дисперсионной;
- в. никакое из выше перечисленных.

14. Выберите ответ, в котором оба варианта подходят под понятие одномерные частицы:

- а. нити, поры;
- б. мембраны, пленки;
- в. капли, пленки;
- г. поры, пленки.

15. Удельная поверхность - ...

- а. межфазная поверхность, приходящаяся на единицу объема или массы дисперсной фазы;
- б. физическая величина, характеризующая размер взвешенных частиц в дисперсных системах;
- в. величина, обратная поперечному размеру частицы.

16. Установите соответствие

ТИП КОНЦЕНТРАЦИИ	ФОРМУЛА
1.массовая	а. $\nu = V\partial.\phi./V\partial.c$
2.численная	б. $\nu = N/V\partial.c$
3.объемная	в. $\nu = m \partial.\phi./V \partial.c.$

17. Золь $BaSO_4$ получен взаимодействием $Ba(NO_3)_2$ и K_2SO_4 при избытке K_2SO_4 . Какой ион будет потенциалопределяющим?

- а. Ba^{2+} ;
- б. K^{+} ;
- в. SO_4^{2-} ;
- г. NO_3^{-} .

18. Какое из уравнений является уравнением Эйнштейна-Смолуховского?

- а. $\overline{\Delta^2} = 2Dt$;
- б. $\eta = \eta_0 (1 + k\phi)$;
- в. $D = kT/6\pi\eta r$.

19. При каких размерах частиц наблюдается броуновское движение?

- а. < 100 нм;
- б. < 10 мкм;
- в. < 1 мкм.

20. Согласно уравнению Рэлея интенсивность рассеянного света возрастает прямо пропорционально...

- а. кубу диаметра частиц;
- б. численной концентрации частиц;
- в. квадрату длины волны падающего света.

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

АДСОРБЦИЯ

Контрольные вопросы

1. Какие факторы влияют на адсорбцию?
2. Каково количественное соотношение между изменением поверхностного натяжения и величиной адсорбции с изменением концентрации ПАВ в растворе?
3. Как изменяется строение адсорбционного слоя на границе раздела вода — воздух при увеличении концентрации ПАВ в растворе?
4. Будет ли выполняться правило Траубе при максимально возможной адсорбции ПАВ?
5. Одинаковы или различны значения максимально возможной адсорбции пропионовой и *n*-валериановой кислот на границе раздела вода — воздух?
6. Приведите характерные типы изотерм адсорбции на твердых адсорбентах.
7. В чем сущность графического метода определения констант в уравнении Фрейндлиха? В области каких концентраций применимо уравнение Фрейндлиха?
8. Чем объясняется явление гистерезиса? С проявлением каких сил оно связано в случае капиллярной конденсации?
9. Можно ли использовать древесный уголь как адсорбент в растворах талового спирта?
10. Приведите строение адсорбционного слоя при адсорбции ПАВ на соответствующих адсорбентах из водных и неводных сред.
11. Почему адсорбцию электролитов называют активированной? Какова ее природа?
12. В чем сущность ионообменной адсорбции? Каково ее практическое значение?
13. Приведите примеры ионообменных адсорбентов (катионитов и анионитов). Назовите их активные группы.
14. Что характеризует обменная емкость смол?
15. В какой среде $\text{pH} = 2$ или $\text{pH} = 8$ будет больше обменная способность катионита, у которого активные группы — COOH ?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1.

Адсорбция на границе ЖИДКОСТЬ – ГАЗ.

Влияние жирных кислот на поверхностное натяжение воды

Цель работы:

1. Изучить поверхностное натяжение водных растворов жирных кислот (уксусной, валериановой и др.)
2. Построить графики зависимости изотермы поверхностного натяжения и адсорбции от концентрации кислоты.

Приборы и посуда:

1. Установка для определения поверхностного натяжения сталагмометрическим методом.

Реактивы и материалы:

1. Исследуемая жидкость.

Явление адсорбции растворенного вещества на границе жидкость – газ обусловлено понижением свободной энергии поверхности жидкости. Величина свободной поверхностной энергии F_S выражается уравнением:

$$F_S = \sigma \cdot S, \quad (1)$$

где: σ – свободная энергия единицы поверхности (1 см^2) или поверхностное натяжение; S – площадь поверхностного раздела фаз.

Термодинамика утверждает, что самопроизвольные процессы идут только в сторону уменьшения свободной энергии. В чистых жидкостях, где $\sigma = \text{const}$, это уменьшение произойти только за счет сокращения поверхности. В растворах возможен и второй путь уменьшения F_S – перераспределение растворенного вещества между внутренней областью и поверхностным слоем в результате чего происходит уменьшение поверхностного натяжения, а следовательно, и понижение свободной энергии.

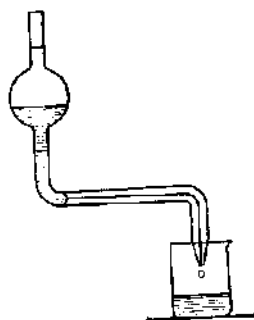


Рисунок 4. Схема установки для определения поверхностного натяжения сталагмометрическим методом.

Влияние жирных кислот на поверхностное натяжение воды

Поверхностное натяжение можно измерять методом счета капель (метод сталагмометра). Он основан на том, что вес капли, отрывающейся под действием силы тяжести от кончика капилляра (рис. 4), будет тем больше, чем больше поверхностное натяжение жидкости на границе с воздухом. Таким образом, число капель n , полученное при вытекании жидкости объемом V , является мерой поверхностного натяжения данной жидкости. Чем меньше число капель, составляющих объем, тем больше поверхностное натяжение σ_x данной жид-

кости.

Вес отрываемой капли P пропорционален силе поверхностного натяжения, удерживающей каплю, т.е.:

$$P = 2\pi r\sigma. \quad (2)$$

С другой стороны, вес капли $P = \frac{V\rho g}{n}$, (3)

где: V – объем сталагмометра; ρ – плотность жидкости; g – ускорение свободного падения; n – число капель.

Таким образом, зная r капилляра сталагмометра, рассчитывают σ . Если r неизвестен, то σ определяют относительным методом, используя жидкость с известным σ .

Подсчитав число капель чистой воды n_0 и число капель исследуемой жидкости n_x , вытекающей из сталагмометра, можно найти σ_x :

$$\sigma_x = \sigma_0 \cdot \frac{n_0}{n_x} \rho_x, \quad (4)$$

где ρ_x – плотность исследуемой жидкости; $\sigma_0 = 72,56$ эрг/см² при 20 °С.

Методика выполнения работы

Для выполнения работы сталагмометр закрепляют в штативе, следя за тем, чтобы нижняя площадка находилась в горизонтальной плоскости. Наливают жидкость при помощи пипетки выше верхней метки. Затем считают число капель жидкости из объема от верхней до нижней метки. Для исследования брать растворы жирных кислот разной концентрации (приготовить из более концентрированных растворов методом разбавления).

Для каждой концентрации опыт повторить 3–4 раза и взять среднее значение.

Поверхностное натяжение рассчитать по формуле (4). Данные занести в табл. I (см. форму отчета).

Форма отчета

1. Указать цель работы.
2. Составить блок–схему исследования.
3. Таблица 1.

Таблица I.

№ п/п	Исследуемая жид- кость	№ опыта	Число ка- пель	σ_x

4. Построить изотермы поверхностного натяжения, т.е. зависимость σ от C . (За начало координат следует взять не нуль, а наименьшее значение σ , полученное в опыте).

5. Рассчитать величины адсорбции (Γ), предельной адсорбции (Γ_{\max}), площади, занимаемой одной молекулой ПАВ (S_0) и длины молекулы (l).

Для интерпретации явления адсорбции на границе раствор – газ пользуются уравнением Гиббса, которое устанавливает связь между избытком адсорбируемого вещества, в поверхностном слое (Γ), концентрацией ПАВ в растворе (C) и поверхностным натяжением (σ) на границе раствор–газ.

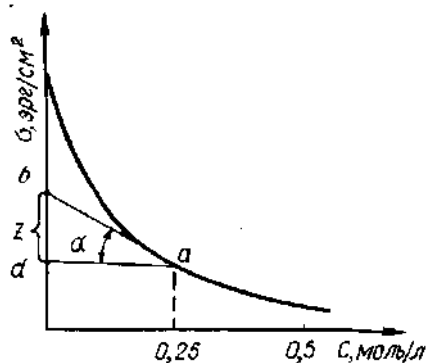


Рисунок 5. Расчет адсорбции по изотерме поверхностного натяжения.

$$\Gamma = - \frac{C}{RT} \cdot \frac{d\sigma}{dC} \text{ (моль/см}^2\text{)}, \quad (5)$$

где: C – молярная концентрация ПАВ в растворе, моль/л; $\frac{d\sigma}{dC}$ – поверхностная активность; R – универсальная газовая постоянная, $R = 8,31 \cdot 10^7$ эрг/моль·град; T – абсолютная температура, К. Это уравнение позволяет по изотерме поверхностного натяжения $\sigma = f(C)$ вычислить величину адсорбции графическим методом. Тангенс угла наклона линии на графике характеризует поверхностную активность G :

$$G = - \frac{d\sigma}{dC} \text{ эрг} \cdot \text{см/моль}. \quad (6)$$

К изотерме поверхностного натяжения в разных точках (рис.5), отвечающих взятым концентрациям, строят касательные до пересечения с осью координат.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{bd}{ad}, \quad G = \frac{bd}{ad}$$

Подставив значение G из уравнения (6) и обозначив ad через концентрацию находят

$$- \frac{d\sigma}{dC} = \frac{bd}{C}. \quad (7)$$

Откуда длина отрезка bd , выраженная в единицах поверхностного натяжения и обозначенная через Z , равна

$$Z = - C \cdot \frac{d\sigma}{dC}. \quad (8)$$

Подставив в уравнение Гиббса, получают:

$$\Gamma = Z/RT. \quad (9)$$

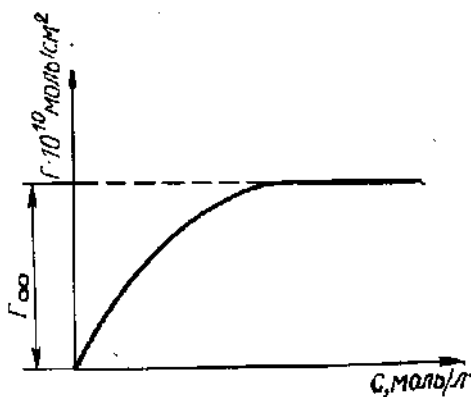


Рисунок 6. Изотерма адсорбции Гиббса. Графическое определение Γ_{∞} .

Таким образом подсчитывают величины адсорбции для тех концентраций, для которых в соответствующих точках на кривой построены касательные (для всех исследуемых растворов).

Зная Γ_{∞} и величину площади S_0 , занимаемую одной молекулой ПАВ, можно рассчитать величину адсорбционного слоя (1) по уравнению:

$$l_{\infty} = \frac{\Gamma_{\infty} \cdot M}{\rho}, \text{ см.} \quad (10)$$

6. Вывод.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2.

Изучение молекулярной адсорбции на активированном угле.

Цель работы:

Изучить явление физической адсорбции; зависимость адсорбции от концентрации адсорбируемого вещества в растворе.

Приборы и посуда:

1. Химические стаканы;
2. Колбы с пробками для выдерживания смесей;
3. Бюретка;
4. Складчатый фильтр;
5. Пипетки;
6. Колбы для титрования.

Реактивы и материалы:

1. Растворы уксусной кислоты;
2. Раствор гидроксида натрия ($C = 0,1$ моль/л);
3. Активированный уголь.

Адсорбцией называют концентрирование вещества из газа и раствора, происходящее на поверхности твердого тела или жидкости. Адсорбция – процесс избирательный.

Адсорбция может быть физической и химической. При физической – молекулы поглощенного вещества (адсорбата) сохраняют свою индивидуальность и образуют на поверхности адсорбента самостоятельную фазу.

В этом случае молекулы адсорбата связаны с поверхностью адсорбента слабыми межмолекулярными силами и могут сравнительно легко покидать эту поверхность. Физическая адсорбция протекает мгновенно, если доступ адсорбата к поверхности адсорбента не затруднен.

Химической адсорбцией или хемосорбцией называют поглощение газов или растворенных веществ поверхностью твердых или жидких тел, сопровождающееся образованием химических соединений. Хемосорбция сопровождается выделением значительного количества тепла подобно всякой экзотермической реакции. Величина адсорбции измеряется в граммах вещества, поглощенного одним граммом адсорбента и может быть найдена по формуле:

$$\Gamma = \frac{x}{m}, (1)$$

где x – масса поглощенного телом вещества, в граммах; m – масса адсорбента, в граммах.

Адсорбция уксусной кислоты на активированном угле представляет собой типичную физическую адсорбцию. Масса поглощенного при физической ад-

сорбции вещества зависит от концентрации этого вещества в растворе. Эта зависимость выражается уравнением Фрейндлиха:

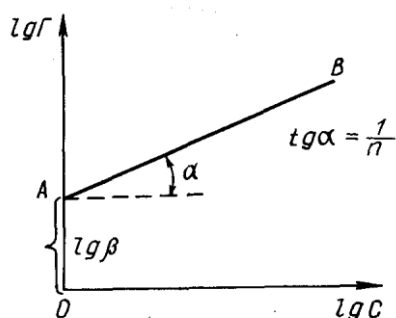


Рисунок 7. Логарифмическая форма изотермы адсорбции Фрейндлиха.

$$\Gamma = \beta \cdot C^n, (2)$$

где β и n – коэффициенты, зависящие от природы адсорбента, а также от температуры раствора; C – концентрация вещества в растворе, моль/л.

Зависимость величины адсорбции от концентрации вещества в растворе при постоянной температуре выражается изотермой адсорбции (рис. 6, лабораторная работа № 2). Изотерма адсорбции показывает, что при постоянном повышении концентрации вещества, величина адсорбции вначале возрастает очень быстро, но затем процесс поглощения замедляется в связи с насы-

щением поверхности адсорбента поглощаемым веществом, в практической работе предстоит определить величины адсорбции при пяти конечных концентрациях уксусной кислоты в растворе (C_1, C_2, C_3, C_4, C_5). По этим данным построить изотерму адсорбции и затем определить аналитическое значение или выражение адсорбции, т.е. найти коэффициенты β и n для уравнения Фрейндлиха.

Для этой цели используют следующее обстоятельство. Если прологарифмировать уравнение Фрейндлиха, то получится выражение:

$$\lg \Gamma = \lg \beta + n \lg C,$$

которое представляет собой уравнение прямой линии. В этом уравнении в качестве переменных выступают $\lg \Gamma$ (функция) и $\lg C$ (аргумент).

Следовательно, если имеющиеся несколько величин адсорбции ($\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3, \Gamma_4, \Gamma_5$) и соответствующие концентрации уксусной кислоты в растворе (C_1, C_2, C_3, C_4, C_5) прологарифмировать, а затем построить графическую зависимость $\lg \Gamma$ от $\lg C$ (рис.7), то получится прямая линия.

Этот график позволяет найти коэффициенты β и n в уравнении Фрейндлиха. В уравнении Фрейндлиха после логарифмирования есть свободный член уравнения, который можно определить по рисунку 7, измерив отрезок на ординате, отсекаемой прямой. Определив $\text{tg} \alpha$, по таблице антилогарифмов можно найти β . Судя по уравнению n – это угловой коэффициент, т.е. тангенс угла наклона прямой к горизонтальной оси на рисунке 7. Если выделить прямоугольный треугольник ABC, то $\text{tg} \alpha = \frac{BC}{AC} = n$. Полученные численные значения

β и n подставляют в уравнение Фрейндлиха. Это и будет аналитическим выражением закона адсорбции уксусной кислоты на активированном угле.

Методика выполнения работы

В пять стеклянных стаканов объемом 250 мл поместить по 16 мл раствора уксусной кислоты различной концентрации (концентрации растворов указывает преподаватель). В каждый стакан с раствором кислоты положить по 0,5 г активированного угля. Оставить на время, периодически перемешивая стеклянной палочкой.

Параллельно провести титрование исходных растворов уксусной кислоты раствором NaOH ($C = 0,1$ моль/л). Результаты титрования привести к 100 мл раствора уксусной кислоты (для титрования брать объем щелочи ≈ 1 мл). Результаты расчетов ($V_{\text{исх.}}$), т.е. объем раствора щелочи необходимый для нейтрализации 100 мл кислоты, записать в табл. 1 (см. форму отчета).

После 60 мин выдержки смесей уксусной кислоты и активированного угля, их отфильтровать на складчатом фильтре. Полученные растворы оставшейся кислоты оттитровать аналогично исходным. Результаты титрования ($V_{\text{кон.}}$) в пересчете на 100 мл раствора кислоты внести в табл. 1 (см. форму отчета).

Форма отчета

1. Указать цель работы.
2. Составить блок–схему исследования.
3. Таблица 1.

Таблица I.

№ п/п	$V_{\text{исх.}}$	$V_{\text{кон.}}$	Γ	$\lg V_{\text{кон.}}$	$\lg \Gamma$
1					
2					
3					
4					
5					

4. Определить количество кислоты (выраженное в мл щелочи), адсорбированное углем из растворов, т.е.

$$\Gamma = V_{\text{исх.}} - V_{\text{кон.}}$$

5. Построить изотерму адсорбции, т.е. графическую зависимость количества поглощенной углем кислоты от конечной концентрации раствора.

6. Найти логарифмы $\lg V_{\text{кон.}}$ и $\lg \Gamma$.

7. Построить зависимость $\lg \Gamma$ от $\lg V_{\text{кон.}}$ и определить значения постоянных β и n в уравнении Фрейндлиха.

8. Вывод.

СВОЙСТВА КОЛЛОИДНЫХ РАСТВОРОВ

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Приведите характеристику коллоидных систем. В чем проявляется количественное сходство и качественное различие между суспензиями, коллоидными и истинными растворами?
2. Назовите основные методы получения коллоидных систем. Приведите примеры.
3. Какова роль стабилизатора?
4. Дайте определение понятиям «кинетическая» и «агрегативная» устойчивость золей. Кем введены эти характеристики?
5. В чем сущность получения золей методом пептизации? Можно ли получить золь методом пептизации из выпавших в осадок кристаллов йодистого серебра?
6. Возможно ли по реакции двойного обмена образование золя, если исходные вещества взяты в эквивалентных количествах? Ответ подтвердите примером.
7. Что такое электрофорез и электроосмос?
8. Каково строение двойного электрического слоя?
9. Назовите силы, действующие между коллоидными частицами и влияющие на величину энергетического барьера.
10. Что такое дзета-потенциал? Как его определяют? Какая связь между величиной дзета-потенциала и устойчивостью коллоидной системы?
11. Чем характеризуется изоэлектрическое состояние коллоидной системы? Напишите возможные формулы мицеллы в изоэлектрическом состоянии сернокислого бария, полученного в результате обменной реакции между азотнокислым барием и серной кислотой.
12. Под влиянием каких факторов может наступить коагуляция золя? Назовите важнейший из них.
13. Приведите формулировку правила значности Шульце—Гарди и примеры, подтверждающие его.
14. Что понимают под порогом коагуляции?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3. *Получение золь и их коагуляция.*

Цель работы:

1. Получить золь гидрата оксида железа (III) и золь берлинской лазури.
2. Определить знак заряда золь гидрата оксида железа (III) и берлинской лазури методом капиллярного анализа.
3. Определить порог коагуляции золь гидрата оксида железа (III) и берлинской лазури различными электролитами.

Приборы и посуда:

1. Коническая колба;
2. Пипетка;
3. Электрическая плитка;
4. Складчатый фильтр;
5. Пробирки.

Реактивы и материалы:

1. Раствор хлорида железа (III);
2. Раствор желтой кровяной соли ($C = 0,0005$ моль/л);;
3. Дистиллированная вода;
4. Раствор хлорида калия ($C = 3,0$ моль/л), ($C = 1,0$ моль/л);;
5. Раствор сульфата калия ($C = 0,005$ моль/л);
6. Раствор хлорида кальция ($C = 0,03$ моль/л);
7. Раствор хлорида алюминия ($C = 0,003$ моль/л).

Методика выполнения работы

Получение золь при химических реакциях

а) Получение золь гидрата окиси железа. В конической колбе (на 250 мл) на электрической плитке нагревают до кипения 150 мл дистиллированной воды. Не снимая колбы, плитку выключают и небольшой струёй вливают в воду пипеткой 5 мл концентрированного раствора хлорида железа (III). (Концентрированный раствор хлорида железа (III) готовит лаборант: 50 мл дистиллированной воды и 50 г $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$).

Происходит гидролиз хлорида железа (III), в результате чего образуется коллоидный раствор гидрата оксида железа (III) интенсивного красно-коричневого цвета, стабилизированный хлоридом железа (III).

Полученный золь охлаждают под краном до комнатной температуры, затем фильтруют сквозь складчатый фильтр, увлажненный дистиллированной водой. *Золь должен казаться совершенно прозрачным в проходящем свете!*

б) Получение золь берлинской лазури. В коническую колбу (на 250 мл) наливают 25 мл дистиллированной воды и добавляют микропипетками (емко-

стью 1 мл и 2 мл) 0,2 мл концентрированного раствора хлорида железа (III) и 2 мл насыщенного раствора желтой кровяной соли при перемешивании. Добавление концентрированного раствора хлорида железа (III) рекомендуется производить биологической пипеткой на 0,2 мл.

Результаты данной работы во многом определяются умением обращаться с пипетками.

В результате реакции обмена образуется нерастворимая в воде берлинская лазурь $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$ в виде густого геля. К образовавшемуся гелю берлинской лазури добавляют 150 мл дистиллированной воды, встряхивают и фильтруют золь через складчатый фильтр, смоченный дистиллированной водой. *Золь должен быть совершенно прозрачным в проходящем свете и иметь интенсивно-синюю окраску!*

В данном случае золь берлинской лазури, для которого стабилизатором является желтая кровяная соль, образуется в результате пептизации геля.

Определение знака заряда золь методом капиллярного анализа

Иногда знак заряда коллоидных частиц можно определить, не прибегая к электрофорезу или электроосмосу, например для окрашенных золь *методом капиллярного анализа*, используя зависимость адсорбируемости золь от знака заряда поверхности адсорбента. В качестве такой заряженной поверхности может быть использована поверхность капилляров фильтровальной бумаги. При погружении в воду фильтровальной бумаги целлюлозные стенки капилляров заряжаются отрицательно, а прилегающая к ним вода — положительно. За счет сил поверхностного натяжения вода поднимается по капиллярам бумаги.

Если в воде находятся *заряженные коллоидные частицы, то передвижение их вверх возможно только тогда, когда они заряжены отрицательно и не притягиваются к стенкам капилляров*. Если частицы заряжены положительно, то подъем невозможен, так как они будут оседать на стенках капилляров.

Окрашенные золи гидрата оксида железа (III) и берлинской лазури наливают приблизительно по 5—10 мл в маленькие стаканчики и опускают в них по узкой одинаковой полоске фильтровальной бумаги ($1 \cdot 10 \text{ см}^2$). Верхний конец полосок прикалывают кнопками к деревянной планке, закрепленной в лапке штатива. (Следить, чтобы полоска бумаги не касалась стенки стакана!) Через 3—5 мин сопоставляют высоту поднятия воды и коллоидных частиц гидрата окиси железа и берлинской лазури. Делают заключение о заряде частиц этих золь.

Определение порога коагуляции золь

После определения знака заряда коллоидных частиц золь гидрата оксида железа (III) и берлинской лазури делают вывод, какой ион электролита-коагулятора должен оказывать коагулирующее действие на золь. Сопоставление коагулирующей способности электролитов необходимо производить при одинаковом анионе, если ионом-коагулятором является катион, и, наоборот, — при одинаковом катионе, если ион-коагулятор — анион.

Чтобы определить пороги коагуляции золя гидрата оксида железа, готовят растворы электролитов с убывающей концентрацией. Для этого берут три ряда пробирок по шесть штук. Пробирки, применяемые в данной работе, должны быть из бесцветного стекла и одинакового диаметра. В определенную пробирку каждого ряда наливают из бюретки (на 25 мл) заданный объем дистиллированной воды и растворы электролитов в соответствии с табл. I (см. форму отчета). Растворы электролитов отмеряют пипеткой (объемом 5 мл).

Разведение раствора любого электролита в трех рядах одинаково, поэтому, чтобы рационально использовать время, рекомендуется заполнять пробирки следующим образом: *взяв в руку одновременно*, например, вторые пробирки всех трех рядов, наливают в них по 1 мл дистиллированной воды; в третьи — по 2 мл дистиллированной воды и т. д. Затем в пробирки каждого ряда пипеткой добавляют объемы раствора заданного электролита в убывающем количестве 5; 4; 3; 2; 1 и 0,5.

Заполнение пробирок золем производится из бескрановой бюретки (объемом 100 мл), которую укрепляют в лапке штатива таким образом, чтобы можно было заполнять пробирки, не вынимая из штатива. Передвигая под бюреткой штатив с пробирками, добавляют по 5 мл золя по возможности одновременно во все пробирки каждого ряда. Содержимое пробирок перемешивают встряхиванием, записывают время начала опыта и оставляют на 30 мин для прохождения явной коагуляции.

За это время готовят: во-первых, контрольный раствор золя гидрата оксида железа (III) сливанием в пробирке 5 мл дистиллированной воды и 5 мл золя; во-вторых, производят разбавление растворов электролитов, указанных в табл. II (см. форму отчета), для определения порога коагуляции золя берлинской лазури. Методика разбавления та же. После добавления золя содержимое пробирок перемешивают встряхиванием. Записывают время начала опыта и оставляют на 30 мин. Контрольный раствор готовят сливанием 5 мл дистиллированной воды и 5 мл исходного раствора берлинской лазури.

В течение работы необходимо не пропустить момент коагуляции золя гидрата оксида железа (III).

Коагуляцию отмечают, сопоставляя *контрольную и исследуемую пробирки*, для чего их ставят на лист белой бумаги и наблюдают помутнение золя сверху через всю толщу раствора или наблюдают образование укрупненных агрегатов в проходящем свете при сопоставлении *контрольной и исследуемой пробирок*.

В табл. I и II отмечают коагуляцию знаком плюс, отсутствие коагуляции — знаком минус.

Форма отчета

1. Указать цель работы.
2. Составить блок-схему исследования.
3. Указать, каким методом получается золь гидрата оксида железа (III) и берлинской лазури. Привести соответствующие уравнения реакции.
4. Как определяется знак коллоидных частиц, что лежит в основе этой

метода? Записать наблюдения и сделать вывод о знаке заряда коллоидных частиц гидрата оксида железа (III) и берлинской лазури.

5. Сделать вывод, какие ионы электролита-коагулятора должны оказать коагулирующее действие на золь гидрата оксида железа (III) и берлинской лазури.

6. Таблицы I и II.

Таблица I

Коагуляция золя гидрата оксида железа (III) под влиянием электролитов

Время начала опыта ... час ... мин

Время окончания опыта ... час ... мин

Ряд пробирок	Коагулятор		Порог коагуляции γ , ммоль/л	Номер пробирки					
	Электролит	Ион		1	2	3	4	5	6
1	3,0 М KCl								
2	0,005 М K ₂ SO ₄								
3	0,0005М K ₃ [Fe(CN) ₆]								
Объем, мл	дистиллированной воды			0	1	2	3	4	4,5
	раствора электролита			5	4	3	2	1	0,5
	золь гидрата оксида железа (III)			5	5	5	5	5	5

Таблица II

Коагуляция золя берлинской лазури под влиянием электролитов

Время начала опыта ... час ... мин

Время окончания опыта ... час ... мин

Ряд пробирок	Коагулятор		Порог коагуляции γ , ммоль/л	Номер пробирки					
	Электролит	Ион		1	2	3	4	5	6
1	1,0 М KCl								
2	0.03 М CaCl ₂								
3	0.003 М AlCl ₃								
Объем, мл	дистиллированной воды			0	1	2	3	4	4,5
	раствора электролита			5	4	3	2	1	0,5
	золь берлинской лазури			5	5	5	5	5	5

7. Написать формулы мицелл полученных золей и разобрать их строение. Указать, какой электролит является стабилизатором золя гидрата оксида железа (III) и берлинской лазури.

8. Рассчитать порог коагуляции золей гидрата окиси железа и берлинской лазури *для каждого электролита-коагулятора*.

Порог коагуляции выражается в миллимолях (ммоль) на литр золя. Суммарный объем растворов в каждой пробирке 10 мл, следовательно, концентрация золя во всех пробирках одинакова. Если C — молярная концентрация раствора электролита, V — минимальное число миллилитров этого электролита, достаточное для коагуляции 10 мл золя, то CV дает нам число миллимоль электролита, добавленного к 10 мл золя. Для пересчета на 1 л золя CV надо умножить на 100, тогда порог коагуляции равен

$$\gamma = CV \cdot 100, \text{ ммоль/л.}$$

9. Найти соотношение порогов коагуляции и сопоставить полученные данные с правилом значности Шульце—Гарди.

10. Вывод.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4.

Нарушение устойчивости растворов высокомолекулярного электролита под влиянием дегидратирующих веществ. Определение ИЭТ белка

Цель работы:

1. Исследовать устойчивость растворов желатина в зависимости от pH среды под влиянием дегидратирующего вещества — спирта при постоянной температуре.
2. Определить ИЭТ белка.

Приборы и посуда:

1. Пипетка;
2. Бюретка;
3. Пробирки.

Реактивы и материалы:

1. Раствор HCl ($C = 0,01$ моль/л);
2. Раствор HCl ($C = 0,001$ моль/л);
3. Раствор CH_3COOH ($C = 0,1$ моль/л);
4. Раствор CH_3COONa ($C = 0,1$ моль/л);
5. Раствор NaOH ($C = 0,1$ моль/л);
6. Раствор NaOH ($C = 0,01$ моль/л);
7. Раствор желатина ($\omega = 1\%$);
8. Этиловый спирт.

Методика работы

Для работы необходимо приготовить 9 чистых сухих пронумерованных пробирок (на 25 мл). В первую пробирку наливают пипеткой 5 мл 0,01 н. раствора HCl, во вторую — 5 мл 0,001 н. раствора HCl. В пробирках 3—7 приготавливают по 5 мл ацетатных буферных смесей со значениями pH, равными 3,8; 4,4; 4,7; 5,1; 5,7, сливанием определенных объемов 0,1 н. растворов CH_3COOH (А) и CH_3COONa (В) (см. табл. 1). Объемы растворов CH_3COOH и CH_3COONa отмеряют пипетками (на 5 мл). Приготовленные буферные смеси перемешивают встряхиванием. В восьмую пробирку наливают 5 мл 0,001 н. раствора NaOH, а в девятую — 5 мл 0,01 н. раствора NaOH. Водородный показатель растворов кислоты и щелочи измеряется на pH-метре. Перед работой необходимо ознакомиться с методикой измерения pH на приборе pH-340.

Таблица I

Составы буферных растворов, применяемых для определения pH

1. Ацетатный буфер (pH_1) - смесь 0,1М раствора CH_3COOH (А) и 0,1 М раствора CH_3COONa (В)

2. Фосфатный буфер (рН₂) - смесь 0,1 М раствора NaH₂PO₄ (А) 0,1М и раствора Na₂HPO₄ (В).

А, мл	В, мл	рН ₁	рН ₂
9	1	3,80	5,91
8	2	4,15	6,24
7	3	4,39	6,47
6	4	4,58	6,64
5	5	4,76	6,81
4	6	4,93	6,98
3	7	5,12	7,17
2	8	5,36	7,38
1	9	5,71	7,73

Во все пробирки добавляют из бюретки (объемом на 25 мл) по 2 мл 1% раствора желатина, тщательно перемешивают. Затем из бюретки емкостью 25 мл добавляют в каждую пробирку по 2 мл этилового спирта (по возможности безводного) *при интенсивном встряхивании*.

Заносят в табл. 2 время начала опыта (см. форму отчета).

Приготовленные смеси имеют равные объемы (9 мл). Следовательно, концентрация желатина во всех пробирках одинакова. Наблюдают за растворами, отмечая время появления помутнения. Появление помутнения лучше наблюдать на темном фоне, для чего пробирки ставят на лист черной бумаги и просматривают их сверху через всю толщу раствора. Записывают время помутнения (мин) от начала опыта.

Форма отчета

1. Указать цель работы.
2. Таблица 2.

Таблица II

Устойчивость растворов желатина в зависимости от рН среды

Время начала опыта (момент добавления спирта) ... час ... мин

Номер пробирки	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Электролит	HCl 0,01 н.	HCl 0,001 н.	ацетатные буферные смеси					NaOH 0,001 н.	NaOH 0,01 н.
рН раствора			3,8	4,4	4,7	5,1	5,7		
Время помутнения от начала опыта, мин									

3. Построить кривую зависимости устойчивости растворов желатина от pH среды, откладывая на оси абсцисс pH, на оси ординат — время появления помутнения.
4. Сделать вывод о влиянии pH среды на устойчивость раствора желатина.
5. При каком значении pH раствор желатина обладает наименьшей устойчивостью? Дать объяснение.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5.

Определение температуры плавления и застудневания растворов желатины различной концентрации.

Цель работы:

1. Определить температуру плавления и застудневания раствора желатина.
2. Определить зависимость температуры плавления и застудневания от концентрации раствора.

Приборы и посуда:

1. Водяная баня;
2. Термометр;
3. Пробирки;
4. Химический стакан.

Реактивы и материалы:

1. Желатин;
2. Вода дистиллированная.

Коллоидные растворы, потерявшие текучесть, называются *гелями* или *студнями*. Эти системы полностью или частично потеряли агрегативную устойчивость, но сохранили кинетическую устойчивость. Часто к гелям относят осадки, включающие значительное количество дисперсионной среды. Такие осадки не вполне однородны (кинетическая устойчивость нарушена), и их правильнее выделить в отдельную группу *коагелей* или *коагулятов*. Гели не следует смешивать с *пастами*, которые представляют собой суспензии, потерявшие текучесть вследствие высокой концентрации. Грубодисперсные суспензии также могут образовывать гели, особенно в вязких жидкостях. Такие системы иногда называются *псевдогелями*.

Образование студней у растворов высокомолекулярных соединений более распространено, чем у коллоидных растворов. Вязкость первых растворов высока, и растет с повышением концентрации быстрее, чем у золей. Уже по одной этой причине растворы полимеров легче образуют студни, чем золи.

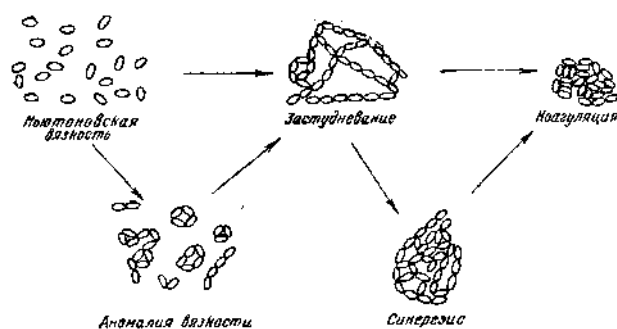


Рисунок 8. Схема агрегирования частиц при коагуляционном желатинировании и синерезисе.

Процесс перехода золя или раствора высокомолекулярного соединения в гель носит название *застудневания* или *желатинирования*. Застудневание является следствием образования связей или усиления взаимодействия между частицами золя или молекулами полимера. Существуют три основных вида застудневания: 1) коагуляционное; 2) ассоциация молекул высокополимерных соединений; 3) образование химических связей между молекулами высокополимерных соединений, а также между коллоидными частицами.

Наиболее существенными факторами желатинирования являются: концентрация раствора, температура, действие электролитов и поверхностно-активных веществ.

С увеличением концентрации повышается возможность ассоциации молекул и коагуляционного взаимодействия частиц. По этой причине концентрированные золи и растворы легче застудневают, чем разбавленные. Для каждой системы существует предельная концентрация, ниже которой она не способна застудневать.

Повышение температуры увеличивает скорость колебательного и поступательного движения молекул и коллоидных частиц, следовательно, оно приводит к ослаблению связи между частицами и затрудняет образование гелей. Растворы высокомолекулярных соединений застудневают в более или менее определенном интервале температур. Можно также говорить о температуре плавления студня, понимая под этим термином интервал температуры разжижения студня. Температура застудневания обычно несколько ниже температуры плавления. Интервал между температурами плавления и застудневания возрастает с уменьшением концентрации. У студней большой концентрации температуры плавления и застудневания почти совпадают.

Если повышение температуры приводит к побочным реакциям, снижающим устойчивость дисперсной системы или растворимость высокомолекулярного соединения, то оно может способствовать застудневанию.

Коагуляционное желатинирование, так же как обычная коагуляция, зависит от валентности, гидратации и концентрации ионов. Но если вероятность коагуляции увеличивается с повышением валентности ионов или их концентрации, то желатинирование происходит только при оптимальной концентрации электролитов. Оптимальная концентрация резко изменяется с увеличением валентности ионов.

Электролиты также оказывают значительное влияние на желатинирование растворов высокомолекулярных соединений. Так, например, известно, что присутствие в желатине солей приводит к ее застудневанию.

Действие электролитов на растворы высокомолекулярных соединений носит сложный характер. Часто оно вызывает образование связей между молекулами полимера, что приводит к понижению растворимости соединений. В других случаях электролиты способствуют ассоциации молекул.

Исследования выявили значительное влияние поверхностно-активных веществ, играющих роль пептизаторов, на застудневание глинистых суспензий, растворов мыл в минеральных маслах и многих других систем. Так же как в

случае действия электролитов и низкомолекулярных фракций, желатинирование имеет место при оптимальных концентрациях поверхностно-активных веществ. Малые концентрации недостаточны для стабилизации частиц, а высокие концентрации вызывают разжижение гелей вследствие полного разрыва связей между частицами.

Методика работы.

Растворяют 5 г желатины в 45 мл горячей воды. Из полученного таким путем 10%-ного раствора, разбавлением водой, приготавливают растворы следующих концентраций: 2, 3, 4, 5, 6 и 8%. Подбирают семь тонкостенных пробирок одинаковой формы и размера и разливают в них по 6 мл каждого из полученных растворов. Температура растворов во время разбавления в пробирках поддерживается в пределах 45-55 °С.

Одновременно подготавливают водяную баню, представляющую собой большой стакан емкостью не менее 800-1000 мл и высотой, превышающей высоту пробирок. Стакан наполняют водой, подогретой до 42-45°С, устанавливают в него термометр и проволочную мешалку. Стакан закрывают листом жести или картона, в котором просверлены отверстия для установки пробирок.

Пробирки с раствором вставляют в стакан и, когда температура в пробирках и стакане сравняется, дают им медленно остывать (примерно со скоростью 1 в две минуты). После того как достигнута комнатная температура, для дальнейшего охлаждения добавляют холодную воду и лед. По мере охлаждения, поднимая и наклоняя пробирки, замечают температуру, при которой раствор перестает течь.

Для определения температуры плавления студней пробирки с раствором помещают в стакан с холодной водой и, подогревая его со скоростью примерно 1 в две минуты, определяют температуру разжижения таким же способом, как описано выше. Результаты записывают в таблицу 1, в которую заносят концентрацию раствора, температуру плавления и температуру застудневания. Обратить внимание на зависимость температур плавления и застывания от концентрации раствора.

Форма отчета

1. Указать цель работы.
2. Таблица 1.

Таблица I

**Влияние концентрации раствора желатина
на температуры плавления и застудневания.**

Номер пробирки	1	2	3	4	5	6	7
Концентрация раствора, %	10	8	6	5	4	3	2
Температуры плавления, °С							
Температуры застудневания, °С							

3. Сделать вывод о влиянии концентрации раствора желатина на температуры плавления и застудневания.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6.

Измерение теплоты набухания желатины в воде.

Цель работы:

1. Определить тепловой эффект процесса набухания желатина в воде.

Приборы и посуда:

1. Калориметрическая установка.

Реактивы и материалы:

1. Желатин;
2. Вода дистиллированная.

Теплотой набухания называется тепловой эффект, сопровождающий набухание тела в жидкости. Теплота набухания зависит от природы набухающего тела и жидкости, а также от температуры и от степени набухания, т. е. от количества жидкости, поглощенной телом при набухании.

Принято различать интегральную и дифференциальную теплоты набухания.

Интегральной теплотой набухания W называется количество тепла, выделяющееся при поглощении одним граммом сухого вещества i граммов жидкости. Интегральная теплота набухания зависит от температуры и концентрации получающегося студня. С повышением температуры величина W убывает, зависимость же между W и i может быть выражена эмпирической формулой

$$W = Ai/(B+i), \quad (1)$$

где A и B — постоянные величины.

Дифференциальная теплота набухания w есть то количество теплоты, которое выделяется при поглощении большим количеством оводненного студня одного грамма жидкости. Ее значение можно получить путем дифференцирования W по i :

$$w = AB/(B+i)^2. \quad (2)$$

Как и интегральная, дифференциальная теплота является функцией температуры и содержания жидкости в студне i .

Обычно экспериментальным путем определяется интегральная теплота набухания W , а значения дифференциальных теплот находятся путем подсчета по уравнению (2).

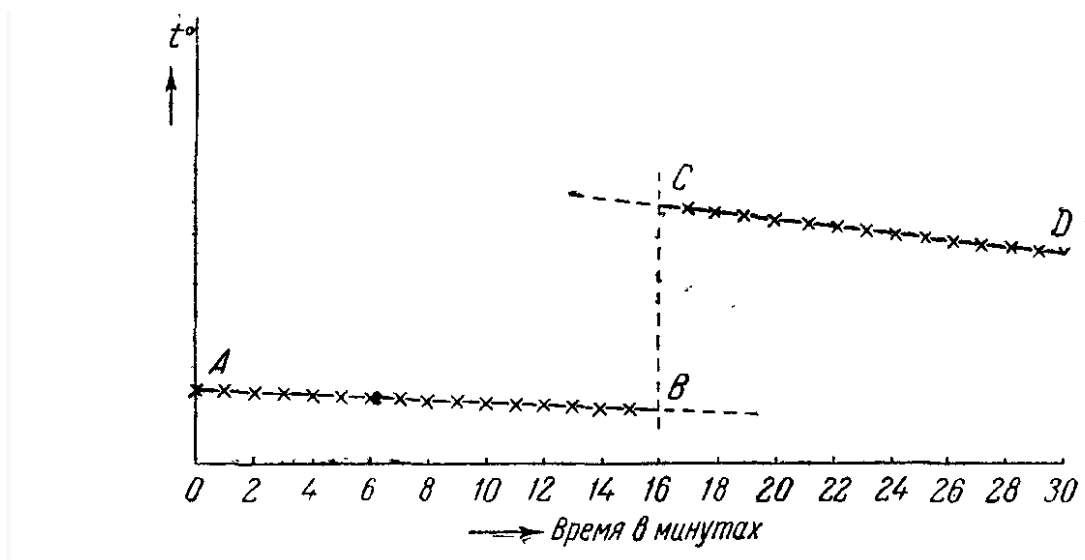


Рисунок 9. Кривая изменения температуры в калориметре.

На основании полученных данных строят кривую время — температура, по которой определяют величину Δt , экстраполируя отрезки AB и CD на время, соответствующее началу прохождения тока, как это изображено на рисунке.

Подобным же образом определяют повышение температуры Δt при набухании, с той лишь разницей, что вместо включения тока в соответствующий момент производят высыпание навески набухающего вещества в воду.

Неизвестный в этом случае тепловой эффект определяют по уравнению

$$q = (m + n)\Delta t, \quad (3)$$

где m — масса воды, налитой в калориметр, n — константа калориметра.

Методика работы.

Желатин предварительно высушивают в сушильном шкафу и измельчают в порошок. Взвешивают навеску желатина 1 г.

В калориметрический сосуд наливают 400 мл дистиллированной воды. Проводят измерения температуры по методике указанной в лабораторной работе № 1 через каждую минуту в течение 15 мин. Если температурный ход небольшой, то на 16-й минуте желатин высыпается в калориметрический сосуд. Продолжают фиксировать температуру до тех пор, пока не получится длительный линейный ход термометра.

Строят график «температура — время», находят графически, как указано на рисунке, Δt , и вычисляют q по уравнению.

Делением q на величину навески желатины находят W — интегральную теплоту набухания желатины в воде. Константа калориметра определяется после основного опыта.

Форма отчета

1. Указать цель работы.
2. Таблица 1.

Таблица I

Результаты калориметрических опытов при определении теплоты набухания желатина

Периоды калори- метрического опыта	Время от начала опыта, мин	Изменение температуры °С	
		для определения K	при набухании в воде желатина
Предварительный (15 мин)	1		
	2		
	3		
	4		
	5		
Главный (время растворения соли)			
Заключительный (5 мин)			

6. На основании полученных данных построить на миллиметровой бумаге график $t^{\circ}=f(\tau)$ (рис. 9) для определения действительного изменения температуры при набухании желатина, по которой проводилось определение константы калориметра.

На рис. 9 отрезок AB показывает изменение температуры предварительного периода (ab), BC —главного периода (bc) и CD — заключительного (cd).

Чтобы определить Δt° , главный период опыта (bc) делят на две части и через середину восстанавливают перпендикуляр. Далее кривые AB и CD продолжают до пересечения с этим перпендикуляром. Расстояние между полученными точками MN соответствует тому изменению температуры, которое имело бы место, если бы удалось сократить до нуля продолжительность главного периода, а следовательно, устранить в этот период влияние теплообмена с окружающей средой. Отрезок MN и будет равен действительному изменению температуры Δt° .

Удобный масштаб для построения графиков:

ось абсцисс 1 см = 10 мин; ось ординат 1 см = 1° C, если Δt° 5 - 10° C;
1 см = 0,5° C, если Δt° 1- 4° C;
или 1 см = 0,2° C, если Δt° 0,1-1° C.

7. Рассчитать теплоту набухания желатина (см. уравнение 3).
8. Вывод.

ЗАДАНИЕ К ИНДИВИДУАЛЬНОЙ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЕ

Опишите свойства вещества А как коллоидной системы в водной дисперсионной среде.

1. Зная, что начальный диаметр частиц дисперсной фазы в растворе составляет X ($X = (20 + \text{номер варианта})$ микрометров), определите дисперсность, удельную поверхность дисперсной фазы, а также отношение этих величин.
2. Исходя из полученного значения диаметра частиц определите начальную численную концентрацию частиц дисперсной фазы в коллоидном растворе, содержащем U % вещества А. ($U = (2,6 + 0,01 \cdot \text{номер варианта})\%$), а также скорость оседания частиц коллоидной фазы в водном растворе (принять плотность раствора равной плотности воды).
3. Рассчитайте среднее время половинной коагуляции для дисперсной фазы вещества А исходя из того, что численная концентрация уменьшается на α % ($\alpha = 0,2204/(1+0,01 \cdot \text{номер варианта})$) каждые 120 секунд. Определите константу скорости коагуляции исходя из рассчитанного вами времени половинной коагуляции.
4. Чему равен порог коагуляции золя вещества А, если для коагуляции $0,01 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$ золя требуется $Z \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$ (Z - номер варианта) раствора MeCl концентрацией $0,1 \text{ кмоль/м}^3$. Определите порог коагуляции под действием раствора MeCl_2 концентрацией $0,09 \cdot Z \text{ кмоль/м}^3$ (его потребуется $1,36 \cdot Z \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$ на 10^{-5} м^3 золя) и раствора MeCl_3 концентрацией $0,03 \cdot Z \text{ кмоль/м}^3$ (его потребуется $0,36 \cdot Z \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$ на 10^{-5} м^3 золя).
5. Если коллоидную систему - золь вещества А подвергать механическому размешиванию в водной среде, то образуется суспензия. Определите вязкость водной суспензии вещества А при температуре T ($T, K = 288 + \text{номер варианта}$), если концентрация частиц дисперсной фазы составляет приблизительно 1,25% от объема суспензии, частицы вещества А имеют сферическую форму. Вязкость воды возьмите в справочнике. После длительного отстаивания суспензии вещества А (вязкость системы не меняется) в водном растворе образуются мицеллы, диаметр которых равен $10 \cdot X$. Определите коэффициент диффузии D мицелл при температурах $(T+10)$, $(T+15)$, $(T+20)$, $(T+25)$, $(T+30)$, $(T+40)$, $(T+50)$, $(T+60)$. Постройте график зависимости D от температуры. Как изменится график, если диаметр мицелл: а) будет меньше в два раза, б) будет больше в два раза, в) будет изменяться по формуле $r_2 = r_1 \cdot 2^{(T_2 - T_1)/5}$.
6. Определите скорость оседания частиц, с учетом того, что их эквивалентный радиус равен половине начального (вязкость водной системы не изменилась, плотность частиц равна половине плотности вещества А).

7. Постройте график - кривую, отражающую распределение частиц по размерам в суспензии вещества А в воде, если были получены следующие экспериментальные данные:

Свежеприготовленная суспензия вещества А была перелита в цилиндр, в который затем была помещена чашечка торсионных весов (масса чашечки, взвешенной в чистой воде равна B мг ($B = 232$ - номер варианта)). Длина столба суспензии над чашечкой равна S мм ($S = 100 +$ номер варианта). По показаниям весов составлена таблица:

Время от начала эксперимента, мин.	Масса чашечки с осадком, мг
1	$280 + 0,01 \cdot \text{номер варианта}$
2	$325 + 0,01 \cdot \text{номер варианта}$
3	$385 + 0,01 \cdot \text{номер варианта}$
4	$453 + 0,01 \cdot \text{номер варианта}$
5	$528 + 0,01 \cdot \text{номер варианта}$
6	$609 + 0,01 \cdot \text{номер варианта}$
7	$689 + 0,01 \cdot \text{номер варианта}$
8	$757 + 0,01 \cdot \text{номер варианта}$
9	$802 + 0,01 \cdot \text{номер варианта}$
10	$823 + 0,01 \cdot \text{номер варианта}$
11	$767 + 0,01 \cdot \text{номер варианта}$
12	$711 + 0,01 \cdot \text{номер варианта}$
13	$655 + 0,01 \cdot \text{номер варианта}$

Для выполнения последнего задания постройте график кривой, отражающей зависимость прироста массы осадка в чашечке от времени осаждения. Все ли полученные в ходе эксперимента данные можно использовать для построения гистограммы? (кратко объясните свою точку зрения).

Задания:

Номер варианта	Вещество	Номер варианта	Вещество	Номер варианта	Вещество	Номер варианта	Вещество
1	Au ₂ O ₃	8	SiO ₂	15	CuO	22	AgI
2	Ag ₂ O	9	GeO ₂ (ам. ф)	16	Cu ₂ O	23	Ag ₂ S
3	FeO	10	SnO	17	Cu(OH) ₂	24	ZnO
4	Fe ₂ O ₃	11	SnO ₂	18	CuS	25	Zn(OH) ₂
5	Fe ₃ O ₄	12	PbO	19	Cu ₂ S	26	ZnS
6	Fe(OH) ₂	13	PbO ₂	20	AgCl	27	CdO
7	Fe(OH) ₃	14	Pb ₃ O ₄	21	AgBr	28	CdS

МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Для примера опишем свойства V_2O_3 , как коллоидной системы в водной дисперсионной среде (Вариант -30).

1. «Зная, что начальный диаметр частиц дисперсной фазы в растворе составляет X ($X = (20 + \text{номер варианта})$ микрометров), определите дисперсность, удельную поверхность дисперсной фазы, а также отношение этих величин.»

Из справочных данных плотность $\rho(V_2O_3) = 4,84 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Диаметр частицы дисперсной фазы $d = 50 \text{ мкм} = 50 \cdot 10^{-6} \text{ м}$.

1.1. Дисперсность — физическая величина, характеризующая размер взвешенных частиц в дисперсных системах. Это величина, показывающая какое число частиц можно уложить вплотную в одном кубическом метре. Чем меньше размер частиц, тем больше дисперсность.

$$\text{Дисперсность } D = 1/d = \frac{1}{50 \cdot 10^{-6}} = 0,02 \cdot 10^6 \text{ м}^{-1}.$$

1.2. Удельная поверхность — усреднённая характеристика размеров частиц раздробленной фазы дисперсной системы. В данном примере рассматривается площадь поверхности всех дисперсных частиц в 1 кг дисперсной системы.

$$\text{Удельная площадь поверхности дисперсной фазы } B_{\text{уд.}} = \frac{6}{d\rho} = \frac{6}{50 \cdot 10^{-6} \cdot 4,84 \cdot 10^3} = 24,8 \text{ м}^2/\text{кг}.$$

1.3. Отношение величин дисперсности и удельной площади поверхности дисперсной фазы.

$$D/B_{\text{уд.}} = \frac{0,02 \cdot 10^6 \text{ м}^{-1}}{24,8 \text{ м}^2/\text{кг}} = 806,45 \text{ кг/м}^3.$$

2. «Исходя из полученного значения диаметра частиц определите начальную численную концентрацию частиц дисперсной фазы в коллоидном растворе, содержащем Y % вещества А. ($Y = (2,6 + 0,01 \cdot \text{номер варианта})$ %), а также скорость оседания частиц коллоидной фазы в водном растворе (принять плотность раствора равной плотности воды).»

2.1. Массовая доля V_2O_3 в растворе $\omega = 2,6 + 0,01 \cdot 30 = 2,9$ %.

2.2. Численная концентрация дисперсной системы характеризует число частиц дисперсной фазы ($N_{\text{частиц}}$) в единицы объема дисперсной системы ($V_{\text{д.с.}}$)

$$v_{ч.} = \frac{N_{частиц}}{V_{д.с.}} (1/м^3)$$

2.3. Допустим, что масса раствора $m_{р-ра} = 100$ г,

принимая плотность раствора $\rho_{р-ра} \approx 1$ г/мл,

следовательно, объем раствора $V_{р-ра} = m/\rho = 100$ мл = $1 \cdot 10^{-4}$ м³,

масса V_2O_3 в растворе $m(V_2O_3) = m_{р-ра} \cdot \omega = 100$ г $\cdot 0,029 = 2,9$ г = $2,9 \cdot 10^{-3}$ кг,

объем V_2O_3 в растворе $V(V_2O_3) = m(V_2O_3)/\rho(V_2O_3) = 2,9 \cdot 10^{-3}$ кг / $4,84 \cdot 10^3$ кг/м³ = $0,6 \cdot 10^{-6}$ м³,

принимая, что частицы V_2O_3 в растворе имеют сферическую форму, объем одной частицы

$$V_{1 \text{ част.}} = \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{4}{3} \cdot 3,14 \cdot (25 \cdot 10^{-6})^3 = 6,5 \cdot 10^{-14} \text{ м}^3,$$

$$N_{частиц} = V(V_2O_3) / V_{1 \text{ част.}} = 0,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 / 6,5 \cdot 10^{-14} \text{ м}^3 = 0,92 \cdot 10^7,$$

$$\text{численная концентрация } v_{ч.} = 0,92 \cdot 10^7 / 1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3 = 0,92 \cdot 10^{11} \text{ м}^{-3}.$$

2.4. Скорость оседания частиц дисперсной фазы ϑ рассчитывается по уравнению Стокса:

$$\vartheta = \frac{2gr^2(\rho - \rho_0)}{9\eta}, \text{ где } g = 9,8 \text{ м/с}^2 - \text{ускорение свободного падения; } r = 25 \cdot 10^{-6}$$

м – радиус частицы V_2O_3 ; $\rho = 4,84 \cdot 10^3$ кг/м³ – плотность вещества дисперсной фазы V_2O_3 ; $\rho_0 = 1,0 \cdot 10^3$ кг/м³ – плотность вещества дисперсионной среды H_2O ; η (H_2O) = $0,8902 \cdot 10^{-3}$ Па·с – вязкость дисперсионной среды при $T = 25^\circ\text{C}$.

$$\begin{aligned} \vartheta &= \frac{2 \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 (25 \cdot 10^{-6} \text{ м})^2 (4,84 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 - 1,00 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3)}{9 \cdot 0,8902 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}} \\ &= 5,87 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}. \end{aligned}$$

3. «Рассчитайте среднее время половинной коагуляции для дисперсной фазы вещества А исходя из того, что численная концентрация уменьшается на α % ($\alpha = 0,2204/(1+0,01 \cdot \text{номер варианта})$) каждые 120 секунд. Определите константу скорости коагуляции исходя из рассчитанного вами времени половинной коагуляции.»

3.1. Время половинной коагуляции - время, в течение которого начальная частичная концентрация дисперсной фазы изменится в два раза. Является характеристикой быстрой коагуляции при которой каждое столкновение частиц приводит к их слипанию, поэтому скорость быстрой коагуляции определяется только диффузией частиц и не зависит от их взаимодействия. Время половинной коагуляции Q можно рассчитать по уравнению Смолуховского:

$$1 + \frac{\tau}{Q} = \frac{v_0}{v_\tau}, \text{ где } \tau = 120 \text{ с} - \text{время коагуляции; } v_0 = \text{частичная концентрация}$$

в начальный момент м³; v_τ = частичная концентрация в момент времени τ м³.

Относительное уменьшение концентрации $\frac{v_0 - v_\tau}{v_0} \cdot 100\% = \alpha = 0,0551$.

Отсюда $v_\tau = v_0(1 - \alpha/100)$; $1 + \frac{\tau}{Q} = \frac{v_0}{v_0(1 - \alpha/100)} = \frac{1}{1 - \alpha/100}$;

$$Q = \frac{\tau(1 - \alpha/100)}{\alpha/100} = \frac{120 \text{ с}(1 - 0,0551\% / 100\%)}{0,0551\% / 100\%} = 217665,8 \text{ с} = 60,5 \text{ часов.}$$

3.2. Константа скорости коагуляции $k = \frac{1}{Qv_0} \text{ м}^3/\text{ч}$, где $Q = 60,5 \text{ ч}$, $v_0 = 0,92 \cdot 10^{11} \text{ м}^{-3}$ (см. п. 2.3).

$$k = \frac{1}{60,5 \text{ ч} \cdot 0,92 \cdot 10^{11} \text{ м}^{-3}} = 0,018 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/\text{ч}.$$

4. «Чему равен порог коагуляции золя вещества А, если для коагуляции $0,01 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$ золя требуется $Z \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$ (Z- номер варианта) раствора MeCl концентрацией $0,1 \text{ кмоль/м}^3$. Определите порог коагуляции под действием раствора MeCl_2 концентрацией $0,09 \cdot Z \text{ кмоль/м}^3$ (его потребуется $1,36 \cdot Z \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$ на 10^{-5} м^3 золя) и раствора MeCl_3 концентрацией $0,03 \cdot Z \text{ кмоль/м}^3$ (его потребуется $0,36 \cdot Z \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$ на 10^{-5} м^3 золя).»

4.1. Порог коагуляции – наименьшая эквивалентная концентрация электролита, вызывающая коагуляцию золя. Порог коагуляции зависит от валентности коагулирующего иона. Эта зависимость выражается правилом Шульце — Гарди: коагулирующим действием обладают ионы, имеющие заряд, противоположный заряду гранулы (потенциалопределяющих ионов) и одинаковый по знаку с противоионами. Коагулирующая способность ионов зависит от величины их заряда – чем выше заряд иона, тем выше его коагулирующее действие.

$$\text{Порог коагуляции } C_{\text{золя}} = \frac{C_{\text{электролита}} V_{\text{электролита}}}{V_{\text{золя}}} \left(\frac{\text{кмоль}}{\text{м}^3} \right).$$

Для электролита MeCl : $C_{\text{электролита}} = 0,1 \text{ кмоль/м}^3$, $V_{\text{электролита}} = 30 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$, $V_{\text{золя}} = 0,01 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$.

$$C_{\text{золя } 1} = \frac{0,1 \text{ кмоль/м}^3 \cdot 30 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3}{0,01 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3} = 300 \text{ кмоль/м}^3.$$

Для электролита MeCl_2 : $C_{\text{электролита}} = 2,7 \text{ кмоль/м}^3$, $V_{\text{электролита}} = 40,8 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$, $V_{\text{золя}} = 10^{-5} \text{ м}^3$.

$$C_{\text{золя } 2} = \frac{2,7 \text{ кмоль/м}^3 \cdot 40,8 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3}{10^{-5} \text{ м}^3} = 11,016 \text{ кмоль/м}^3.$$

Для электролита MeCl_3 : $C_{\text{электролита}} = 0,9 \text{ кмоль/м}^3$, $V_{\text{электролита}} = 10,8 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$, $V_{\text{золя}} = 10^{-5} \text{ м}^3$.

$$C_{\text{золя } 3} = \frac{0,9 \text{ кмоль/м}^3 \cdot 10,8 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3}{10^{-5} \text{ м}^3} = 0,972 \text{ кмоль/м}^3.$$

Из полученных данных видно – с увеличением заряда коагулирующего иона порог коагуляции уменьшается, что подтверждается правилом Шульце-Гарди.

5. Если коллоидную систему - золь вещества *A* подвергать механическому размешиванию в водной среде, то образуется суспензия. Определите вязкость водной суспензии вещества *A* при температуре *T* (*T*, °K = 288 + номер варианта), если концентрация частиц дисперсной фазы составляет приблизительно 1,25% от объема суспензии, частицы вещества *A* имеют сферическую форму. Вязкость воды возьмите в справочнике. После длительного отстаивания суспензии вещества *A* (вязкость системы не меняется) в водном растворе образуются мицеллы, диаметр которых равен $10 \cdot X$ мкм ($X = (20 + \text{номер варианта})$). Определите коэффициент диффузии *D* мицелл при температурах (*T*+10), (*T*+15), (*T*+20), (*T*+25), (*T*+30), (*T*+40), (*T*+50), (*T*+60). Постройте график зависимости *D* от температуры. Как изменится график, если диаметр мицелл: а) будет меньше в два раза, б) будет больше в два раза, в) будет изменяться по формуле $r_2 = r_1 \cdot 2^{(T_2 - T_1)/5}$.»

5.1. Для определения вязкости водной суспензии η используется уравнение Эйнштейна:

$$\eta = \eta_0(1 + \alpha \cdot C_V) \text{ (Па} \cdot \text{с)},$$

где $\eta_0 = 0,7973 \cdot 10^{-3}$ Па · с – вязкость воды при $T = 318$ °K (справочные данные); $\alpha = 2,5$ - коэффициент формы сферических частиц дисперсной фазы; $C_V = 0,0125$ – объемная концентрация дисперсной системы.

$$\eta = 0,7973 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с} (1 + 2,5 \cdot 0,0125) = 0,82 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

5.2. Коэффициент диффузии *D* определяется по уравнению Эйнштейна:

$$D = \frac{kT}{6\pi\eta r} \left(\frac{m^2}{c} \right), \text{ где}$$

$k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – постоянная Больцмана; *T* – температура, °K; η – вязкость дисперсионной среды, Па·с; $r = 500$ мкм = $5 \cdot 10^{-4}$ м – радиус частицы дисперсной фазы.

При $T = 328$ °K, η (H₂O) = $0,5044 \cdot 10^{-3}$ Па·с, $D = 0,95 \cdot 10^{-15}$ м²/с.

При $T = 333$ °K, η (H₂O) = $0,4670 \cdot 10^{-3}$ Па·с, $D = 1,04 \cdot 10^{-15}$ м²/с.

При $T = 338$ °K, η (H₂O) = $0,4339 \cdot 10^{-3}$ Па·с, $D = 1,14 \cdot 10^{-15}$ м²/с.

При $T = 348$ °K, η (H₂O) = $0,3785 \cdot 10^{-3}$ Па·с, $D = 1,35 \cdot 10^{-15}$ м²/с.

При $T = 358$ °K, η (H₂O) = $0,3341 \cdot 10^{-3}$ Па·с, $D = 1,57 \cdot 10^{-15}$ м²/с.

При $T = 368$ °K, η (H₂O) = $0,2978 \cdot 10^{-3}$ Па·с, $D = 1,81 \cdot 10^{-15}$ м²/с.

5.3. При уменьшении диаметра в 2 раза: $d_2 = d_1/2$, $D_2 = D_1 \cdot 2$ – линия на графике будет располагаться выше (линия $D2$).

5.4. При увеличении диаметра в 2 раза: $d_3 = d_1 \cdot 2$, $D_3 = D_1/2$ – линия на графике будет располагаться ниже (линия $D3$).

5.5. При изменении радиуса $r_4 = r_1 \cdot 2^{(T_2 - T_1)/5}$ – линия на графике будет располагаться ниже (линия $D4$).

Рисунок 4. Зависимость коэффициента диффузии от температуры.

6. «Определите скорость оседания частиц, с учетом того, что их эквивалентный радиус равен половине начального (вязкость водной системы не изменилась, плотность частиц равна половине плотности вещества А).»

6.1. Скорость оседания частиц дисперсной фазы ϑ рассчитывается по уравнению Стокса:

$$\vartheta = \frac{2gr_2^2(\rho - \rho_0)}{9\eta},$$
 где $g = 9,8$ м/с² – ускорение свободного падения; $r_2 = r_1/2 = 12,5 \cdot 10^{-6}$ м – радиус частицы V_2O_3 ; $\rho = 4,84 \cdot 10^3$ кг/м³ – плотность вещества дисперсной фазы V_2O_3 ; $\rho = 1,0 \cdot 10^3$ кг/м³ – плотность вещества дисперсионной среды H_2O ; $\eta (H_2O) = 0,8902 \cdot 10^{-3}$ Па·с – вязкость дисперсионной среды при $T = 25^\circ\text{C}$.

$$\eta = \frac{2 \cdot 9,8 \text{ м/с} (12,5 \cdot 10^{-6} \text{ м})^2 (4,84 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 - 1,00 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3)}{9 \cdot 0,8902 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}}$$

$$= 1,47 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}.$$

7. *«Постройте график - кривую, отражающую распределение частиц по размерам в суспензии вещества А в воде, если были получены следующие экспериментальные данные: свежеприготовленная суспензия вещества А была перелита в цилиндр, в который затем была помещена чашечка торсионных весов (масса чашечки, взвешенной в чистой воде равна В мг (В = 232 - номер варианта)). Длина столба суспензии над чашечкой равна S мм (S = 100 + номер варианта). По показаниям весов составлена таблица:*

<i>Время от начала эксперимента, мин.</i>	<i>Масса чашечки с осадком, мг</i>
1	280,3
2	325,3
3	385,3
4	453,3
5	528,3
6	609,3
7	689,3
8	757,3
9	802,3
10	823,3
11	767,3
12	711,3
13	655,3

Для выполнения последнего задания постройте график кривой, отражающей зависимость прироста массы осадка в чашечке от времени осаждения. Все ли полученные в ходе эксперимента данные можно использовать для построения гистограммы? (кратко объясните свою точку зрения).»

7.1. На практике дисперсную систему характеризуют распределением частиц по размерам и фракционным составом системы (содержание дисперсной фазы в заданных интервалах радиусов частиц). Эти характеристики получают, анализируя кинетические кривые осаждения (кривые седиментации), обычно

представляющие собой зависимость массы осевшего вещества от времени осаждения.

В полидисперсной системе частицы различных радиусов оседают одновременно, но с разными скоростями. Предполагая независимость осаждения частиц, можно представить кривую седиментации как наложение бесконечного числа кривых седиментации монодисперсных систем. В качестве прямолинейных участков при этом можно рассматривать бесконечно малые отрезки касательных, проведенных к кривой седиментации в той или иной точке. Общее количество порошка, осевшего к произвольному моменту времени τ_1 в соответствии выразится уравнением $m_1 = Q_1 + \left(\frac{dm}{d\tau}\right)\tau_1$

Величина Q_1 определяется отрезком, отсекаемым на оси ординат продолжением касательной к кривой в точке τ_1 и характеризует массу частиц во фракциях, нацело выпавших к моменту времени τ_1 . Поскольку радиус частиц, прошедших за время τ_1 всю высоту суспензии $r_1 = \sqrt{\frac{KH}{\tau_1}}$, то Q_1 —это масса частиц системы с $r \geq r_1$.

Аналогично, Q_2 есть количество порошка с $r \geq r_2 = \sqrt{\frac{KH}{\tau_2}}$.

Как правило, определяют относительную массу осевшего порошка (в % от общего содержания дисперсной фазы в системе).

Для определения фракционного состава системы строится интегральная кривую распределения частиц по размерам — зависимость величины Q_i (процентного содержания фракции частиц с радиусами от максимального до r) от r . Интегральная кривая позволяет определить процентное содержание фракций.

Более наглядное представление о распределении частиц в системе по размерам дает дифференциальная кривая распределения, представляющая собой зависимость массовой функции распределения $F = |\Delta Q/\Delta r|$ от радиуса частиц.

7.2. Для построения кривой седиментации необходимо рассчитать массу осадка, при условии, что масса чашки 202 мг.

Время от начала эксперимента, мин.	Масса осадка, мг	Время от начала эксперимента, мин.	Масса осадка, мг
1	78,3	8	555,3
2	123,3	9	600,3
3	153,3	10	621,3
4	251,3	11	565,3
5	306,3	12	509,3
6	407,3	13	453,3
7	487,3		



Рисунок 5. Кривая седиментации

Последние два значения не могут быть использованы при расчетах так как характеризуют уже не процесс оседания частиц, а обратный процесс – диффузии.

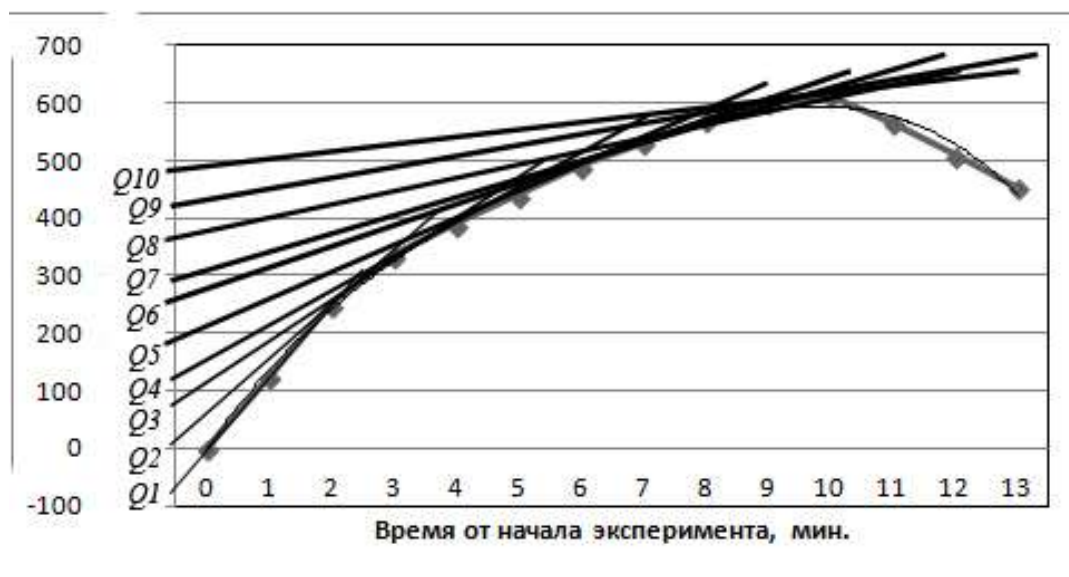


Рисунок 6. Построение касательных к кривой седиментации

7.3. По результатам графика на рисунке 6 составляется таблица.

T, мин.	Q_i , мг	Q_i , %	ΔQ_i , %	r_i , м	Δr_i , м	$\Delta Q_i / \Delta r_i$
1				0,48	0,14	
2				0,34	0,06	
3	10	2,13		0,28	0,04	
4	50	10,64	8,51	0,24	0,03	336,92
5	115	24,47	13,83	0,21	0,02	741,69
6	195	41,49	17,02	0,20	0,01	1174,53
7	280	59,57	18,09	0,18	0,01	1548,16
8	340	72,34	12,77	0,17	0,01	1319,33
9	370	78,72	6,38	0,16	0,01	779,77
10	385	81,91	3,19	0,15	0,01	453,18
11	415	88,30	6,38	0,14		

$$Q_i, \% = \frac{Q_i}{Q_{\text{последнее}}} 100\%$$

$r_i = \sqrt{\frac{KH}{\tau_i}}$, где $K = \frac{9\eta}{2g} (\rho - \rho_0)$ – постоянная, зависящая от свойств частиц и дисперсионной среды, $\eta(\text{H}_2\text{O}) = 1 \cdot 10^{-3}$ Па·с, $g = 9,8$ м/с², $\rho(\text{V}_2\text{O}_3) = 4,84 \cdot 10^3$ кг/м³, $\rho_0 = 1 \cdot 10^3$ кг/м³, $H = 130$ мм = $130 \cdot 10^{-3}$ м – высота столба суспензии.

По результатам таблицы строятся интегральная и дифференциальная кривые распределения частиц по радиусам.

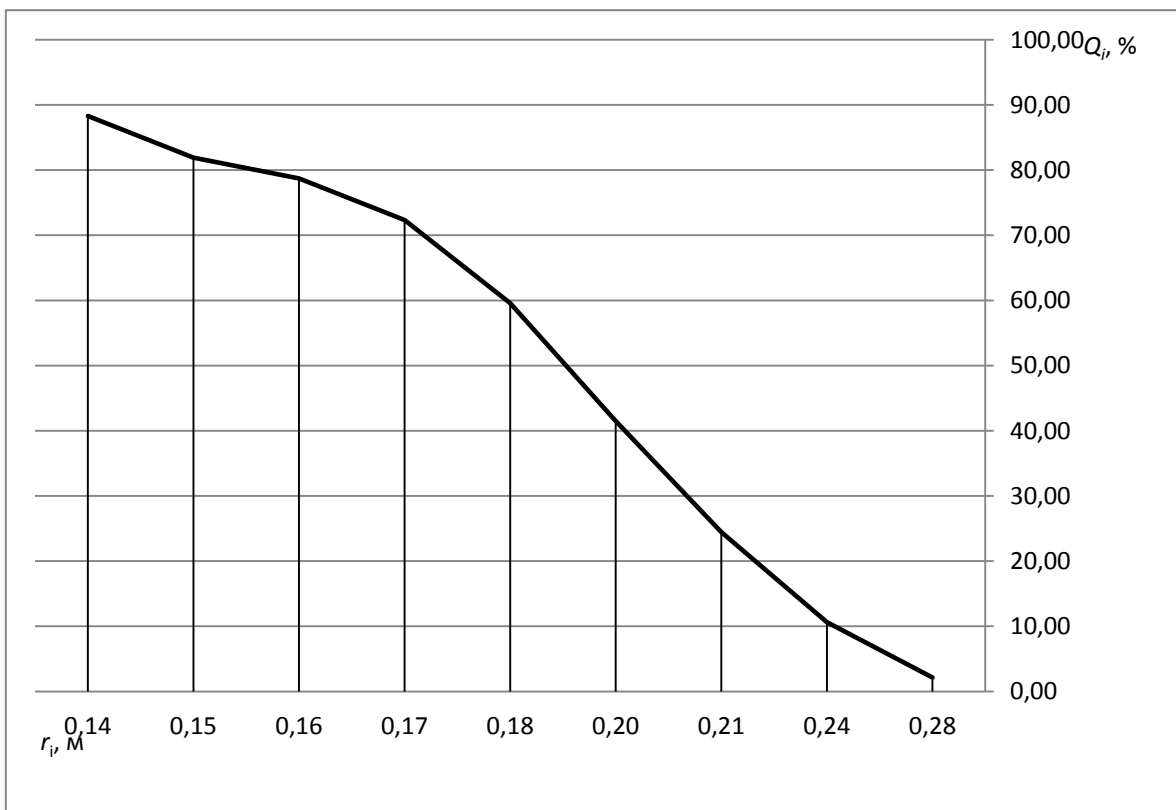


Рисунок 7. Интегральная кривая распределения частиц по радиусам

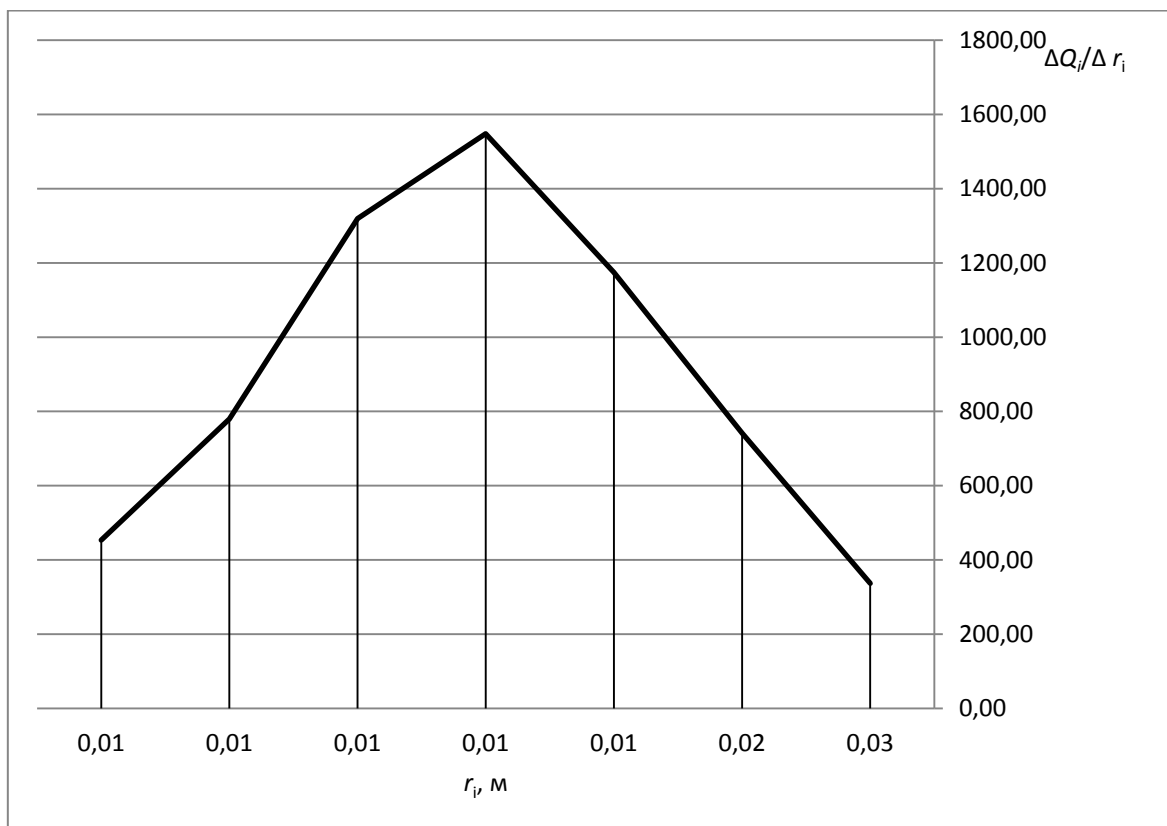


Рисунок 8. Дифференциальная кривая распределения частиц по радиусам

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лабораторные работы и задачи по коллоидной химии. — под ред. Ю. Г. Фролова и А. С. Гродского. — М.: Химия, 1986. — 216 с.
2. А.И. Шутова. Задачник по коллоидной химии. М.: Высшая школа, 1966. — 88 с.
3. В. Ф. Марков, Т. А. Алексеева, Л. А. Брусницына, Л. Н. Маскаева. Коллоидная химия. Примеры и задачи. Учебное пособие. — Издательство: «Юрайт», 2017. — 188 с.
4. С. Б. Цыренова, Е. И. Чебунина, Ф. П. Балдынова. Руководство к решению примеров и задач по коллоидной химии: Учебное пособие. — Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2000. — 210 с.
5. И. И. Климов, А. И. Филькоз. Сборник вопросов и задач по физической и коллоидной химии. Учебное пособие. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Просвещение, 1983. — 176 с.
6. Зимон А. Д., Лещенко Н. Ф. Коллоидная химия. 3-е изд., доп. и исправл. М.: АГАР, 2001. — 320 с.

Учебное издание

**Никишина Мария Борисовна
Иванова Евгения Владимировна
Атрощенко Юрий Михайлович**

Сборник заданий по коллоидной химии

Учебно-методическое пособие

Текст приводится в авторской редакции

Ответственный редактор *Ю. Барабанищикова*
Верстальщик *М. Глаголева*

Издательство «Директ-Медиа»
117342, Москва, ул. Обручева, 34/63, стр. 1
Тел./факс: +7 (495) 334-72-11
E-mail: manager@directmedia.ru
www.biblioclub.ru