

Контрольная работа.

Примеры решения задач
и задачи для самостоятельного решения.

Оглавление

КОЛЛОИДНАЯ ХИМИЯ	3
1. Дисперсность	3
Задания для самостоятельного выполнения	8
2. Межмолекулярные взаимодействия. Когезия, адгезия смачивание, растекание.	12
Задания для самостоятельного выполнения	18
3. Адсорбция на границе твердое тело-газ. Уравнение изотермы адсорбции лэнгмюра.	22
Задания для самостоятельного выполнения	26
4. Адсорбция на границе раствор-газ	31
Задания для самостоятельного выполнения	35
5. Электрокинетические явления	39
Задания для самостоятельного выполнения	44
6. Свойства поверхностно-активных веществ	49
Задания для самостоятельного выполнения	54
7. Строение коллоидных мицелл	57
Задания для самостоятельного выполнения	60
8. Коагуляция лиофобных зольей электролитами. Выбор иона- коагулятора	64
Задания для самостоятельного выполнения	66
9. Расчёт порогов коагуляции.....	68
Задания для самостоятельного выполнения	69

КОЛЛОИДНАЯ ХИМИЯ

1. Дисперсность

Основными специфическими особенностями дисперсных систем являются: *гетерогенность* (многофазность) - качественная характеристика дисперсных систем и *дисперсность* (раздробленность) - количественная характеристика дисперсных систем.

Мерой раздробленности дисперсной системы может служить:

- *поперечный размер частицы* (a) - диаметр (d) для сферических частиц, длина ребра (l) для кубических частиц;

- *дисперсность* (D) - величина, обратная поперечному размеру частицы:

$$D = 1/a, \text{ м}^{-1}; \quad (1.1)$$

- *удельная поверхность* ($S_{уд}$) - межфазная поверхность, приходящаяся на единицу объема дисперсной фазы (д.ф.):

$$S_{уд} = \frac{\Sigma S_{д.ф.}}{\Sigma V_{д.ф.}}, \quad \frac{\text{м}^2}{\text{м}^3} = \text{м}^{-1} \quad (1.2)$$

Объем дисперсной фазы $V_{д.ф.}$ часто не известен, поэтому вместо него используют массу дисперсной фазы $m_{д.ф.}$. При этом:

$$S_{уд} = \frac{\Sigma S_{д.ф.}}{m_{д.ф.}}, \quad \frac{\text{м}^2}{\text{кг}} \quad (1.3)$$

Удельную поверхность дисперсной фазы можно вычислить, если известны размер и форма частиц. Например:

- для сферических частиц:

$$S_{шара} = 4\pi r^2; V_{шара} = 4/3\pi r^3,$$

тогда

$$S_{уд} = \frac{4\pi r^2}{4/3\pi r^3} = \frac{3}{r} = \frac{6}{d} = 6D; \quad (1.4)$$

- для кубических частиц:

$$S_{\text{куб}} = 6l^2; \quad V_{\text{куб}} = l^3,$$

тогда:

$$S_{\text{уд}} = \frac{6l^2}{l^3} = \frac{6}{l} = 6D. \quad (1.5)$$

В общем случае:

$$S_{\text{уд}} = k \frac{1}{a} = kD, \quad (1.6)$$

где k – коэффициент, зависящий от формы частицы.

Таким образом, удельная поверхность прямо пропорциональна дисперсности, и обратно пропорциональна поперечному размеру частицы.

Число сферических, частиц (n) в 1 м^3 дисперсной системы равно отношению объема (1 м^3) системы к объему одной сферической частицы:

$$n = \frac{V_{\text{общ}}}{V_{\text{шара}}} = \frac{1}{4/3\pi r^3}. \quad (1.7)$$

Площадь удельной поверхности сферических частиц в 1 м^3 дисперсной системы будет равна произведению числа частиц на площадь каждой частицы:

$$S_{\text{уд}} = n \cdot S_{\text{шара}} = \frac{1}{4/(3\pi r^3)} \cdot 4\pi r^2 = \frac{3}{r} = \frac{6}{d} = 6D \quad (1.8)$$

Число сферических частиц (n) в 1 кг дисперсной системы равно отношению массы (1 кг) к массе одной частицы. Масса одного шарика золя равна произведению объема шарика на плотность (ρ , кг/м^3):

$$m_{\text{шара}} = V_{\text{шара}} \cdot \rho = 4/3\pi r^3 \cdot \rho \quad (1.9)$$

Тогда, число частиц в 1 кг золя для сферических частиц:

$$n = \frac{m_{\text{общ}}}{m_{\text{шара}}} = \frac{1}{4/3\pi r^3 \cdot \rho} \quad (1.10)$$

Площадь удельной поверхности в 1 кг золя будет равна произведению числа частиц на площадь каждой частицы:

$$S_{\text{уд}} = n \cdot S_{\text{шара}} = \frac{1}{\frac{4}{3\pi r^3} \rho} \cdot 4\pi r^2 = \frac{3}{r \cdot \rho} = \frac{6}{d \cdot \rho} = \frac{6D}{\rho} \quad (1.11)$$

Поверхностная энергия

Дисперсные системы, имеющие сильно развитую поверхность, обладают избыточной поверхностной энергией, которая является мерой гетерогенности дисперсной системы.

Свободная поверхностная энергия G^S , Дж/м², определяется суммарной поверхностью частиц S и величиной поверхностного натяжения σ , которую можно рассматривать как величину удельной поверхностной энергии:

$$G^S = \sigma \cdot S \quad (1.12)$$

Примеры выполнения заданий

Пример 1.

Дисперсность частиц коллоидного золота равна 10^8 м^{-1} . Принимая частицы золота в виде кубиков, определите, какую поверхность $S_{\text{общ}}$ они могут покрыть, если их плотно уложить в один слой. Масса коллоидных частиц золота 1 г. Плотность золота равна $19,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Решение:

Поскольку по уравнению $S_{\text{уд}} = \frac{S}{V}$, то общая поверхность частиц коллоидного золота равна: $S = S_{\text{уд}} \cdot V$.

Удельная поверхность кубических частиц по уравнению равна:

$$S_{\text{уд}} = 6D.$$

Объём золь золота связан с массой золь:

$$V = m/\rho.$$

Тогда:

$$S = \frac{6 \cdot D \cdot m}{\rho} = \frac{6 \cdot 10^8 \text{ м}^{-1} \cdot 1 \cdot 10^{-3} \text{ кг}}{19,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3} = 30,61 \text{ м}^2$$

Пример 2.

Коллоидные частицы золота имеют дисперсность $D=10^8 \text{ м}^{-1}$. Какой длины (L) будет нить, если 1 г кубиков золота расположить друг за другом. Плотность золота составляет $19,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Решение:

Длина нити золота равна произведению количества кубиков золота (n) на длину ребра одного кубика:

$$l = n \cdot l.$$

Длина ребра кубика обратно пропорциональна дисперсности:

$$l = 1/D.$$

Число частиц золь равно общему объёму золь $V_{\text{общ}}$, делённому на объём одного кубика золота $V_{\text{куб}}$:

$$n = \frac{V_{\text{общ}}}{V_{\text{куб}}}.$$

Общий объём золя равен:

$$V_{\text{общ}} = \frac{m}{\rho}.$$

Объём одного кубика золота равен:

$$V_{\text{куб}} = l^3.$$

Тогда длина нити золота будет равна:

$$L = \frac{V_{\text{общ}}}{V_{\text{куб}}} \cdot l = \frac{m}{\rho \cdot l^3} \cdot l = \frac{m}{\rho \cdot l^2} = \frac{m}{\rho} \cdot D^2$$

Пример 3.

Определите энергию Гиббса G^S поверхности капль водяного тумана массой $m=4$ г при 293 К, если плотность воды $\rho=0,998$ г/см³, поверхностное натяжение воды $\sigma=72,75 \cdot 10^{-3}$ Дж/м², дисперсность частиц $D=50$ мкм⁻¹.

Решение:

Энергия Гиббса поверхности определяется по уравнению

$$G^S = \sigma \cdot S.$$

Полная поверхность капль тумана равна произведению удельной поверхности на общий объём капль:

$$S = S_{\text{уд}} \cdot V.$$

Для сферических частиц:

$$S_{\text{уд}} = 6D.$$

С другой стороны:

$$V = \frac{m}{\rho}.$$

Тогда:

$$S = S_{\text{уд}} \cdot V = 6D \cdot \frac{m}{\rho}.$$

Энергия Гиббса поверхности равна:

$$G_s = \sigma \cdot S = \sigma \cdot 6D \cdot \frac{m}{\rho}.$$

$$G_s = 72,75 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Дж}}{\text{м}^2} \cdot 6 \cdot 50 \cdot 10^6 \text{м}^{-1} \cdot \frac{4 \cdot 10^{-3} \text{кг}}{0,998 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} == 87,47 \text{ Дж}.$$

Задания для самостоятельного выполнения

Вариант 1.

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.

Вариант 2.

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.

Вариант 3.

Вычислите удельную поверхность гидрозоль сульфида мышьяка As_2S_3 , средний диаметр частиц которого равен $1,2 \cdot 10^{-7}$ м, а плотность равна $3,43 \cdot 10^3$ кг/м³. Ответ дайте в м⁻¹ и в м²/кг.

Вариант 4.

Определите величину удельной поверхности суспензии каолина плотностью $2,5 \cdot 10^3$ кг/м³, состоящей из шарообразных частиц со средним диаметром $0,5 \cdot 10^{-6}$ м. Суспензию считайте монодисперсной. Ответ дайте в м⁻¹ и в м²/кг.

Вариант 5.

Найдите удельную поверхность угля, применяемого в современных топках для пылевидного топлива, если известно, что угольная пыль предварительно просеивается через сито с отверстиями $7,5 \cdot 10^{-5}$ м. Плотность угля $1,8 \cdot 10^3$ кг/м³. Систему считайте монодисперсной. Ответ дайте в м⁻¹ и в м²/кг.

Вариант 6.

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.

Вариант 7.

Вычислите удельную поверхность 1 кг угольной пыли с диаметром частиц, равным $8 \cdot 10^{-5}$ м. Плотность угля равна $1,8 \cdot 10^3$ кг/м³.

Вариант 8.

Вычислите суммарную площадь поверхности 2 г платины, раздробленной на правильные кубики с длиной ребра $1 \cdot 10^{-8}$ м. Плотность платины равна $21,4 \cdot 10^3$ кг/м³.

Вариант 9.

Вычислите суммарную площадь поверхности 1 г золота, раздробленного на правильные кубики с длиной ребра $5 \cdot 10^{-9}$ м. Плотность золота равна $19,6 \cdot 10^3$ кг/м³.

Вариант 10.

Золь ртути состоит из шариков диаметром $6 \cdot 10^{-8}$ м. Чему равна суммарная поверхность частиц золя, образующихся из 0,5 см³ ртути?

Вариант 11.

Допуская, что в коллоидном растворе золота каждая частица представляет собой куб с длиной ребра $2 \cdot 10^{-8}$ м, рассчитайте:

- число частиц в 1 г золя золота;
- общую площадь поверхности частиц золота. Плотность золота равна $19,6 \cdot 10^3$ кг/м³.

Вариант 12.

Дисперсность золя ртути составляет $1,6 \cdot 10^7$ м⁻¹. Рассчитайте: а) суммарную поверхность частиц 1 г ртути; б) общее число частиц в растворе при дроблении 0,1 г ртути. Примите, что частицы золя ртути имеют сферическую форму. Плотность ртути равна $13,56 \cdot 10^3$ кг/м³.

Вариант 13.

Дисперсность частиц 2 г коллоидного золота равна $5 \cdot 10^7$ м⁻¹. Принимая форму частиц в виде кубиков, определите, какую поверхность они могут покрыть, если их плотно уложить в один слой. Плотность золота составляет $19,6 \cdot 10^3$ кг/м³.

Вариант 14.

Золь ртути состоит из сферических частиц диаметром $6 \cdot 10^{-6}$ м. Чему равна суммарная поверхность частиц золя, образующихся из $2,5 \text{ см}^3$ ртути?

Вариант 15.

Вычислите суммарную поверхность 250 г угольной пыли с диаметром частиц, равным $6 \cdot 10^{-5}$ м. Плотность угля равна $1,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Вариант 16.

Определите величину удельной поверхности суспензии каолина (плотность равна $2,5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$), если шарообразные частицы суспензии имеют дисперсность $2 \cdot 10^6 \text{ м}^{-1}$. Суспензию считайте монодисперсной. Ответ дайте в м^{-1} и в $\text{м}^2/\text{кг}$.

Вариант 17.

Золь ртути состоит из шариков радиусом $3 \cdot 10^{-7}$ м. Чему равна суммарная поверхность частиц золя, образующихся из 300 г ртути? Плотность ртути равна $13,56 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Вариант 18.

При изготовлении эмульсии масла в воде диаметр капель при машинном перемешивании составляет $4 \cdot 10^{-6}$ м, а при ручном взбалтывании $2 \cdot 10^{-5}$ м. Найдите, во сколько раз удельная площадь поверхности эмульсии масла при машинном перемешивании больше, чем при ручном взбалтывании. Плотность масла равна $1,1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Вариант 19.

Какой длины будет нить золота, если 50 г кубиков золота расположить друг за другом. Плотность золота равна $19,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Длина ребра кубика золота составляет $4 \cdot 10^{-7}$ м.

Вариант 20.

Рассчитайте средний диаметр частиц силикагеля, если его удельная поверхность равна $8,3 \cdot 10^3 \text{ м}^2/\text{кг}$, а плотность $\rho = 2200 \text{ кг/м}^3$.

Вариант 21.

Какова общая поверхность 5 кг угля, если средний радиус частиц равен $2,4 \cdot 10^{-5}$ м? Плотность угля составляет 1800 кг/м^3 .

Вариант 22.

Определите энергию Гиббса G^S поверхности 5 г тумана воды, если поверхностное натяжение воды $\sigma = 71,96 \cdot 10^{-3} \text{ Дж/м}^2$, плотность воды $\rho = 0,997 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, дисперсность частиц тумана $D = 60 \text{ мкм}^{-1}$.

Вариант 23.

Аэрозоль ртути сконденсировался в виде большой капли, объемом $3,5 \text{ см}^3$. Определите свободную поверхностную энергию аэрозоля, если дисперсность составляла 10 мкм^{-1} . Поверхностное натяжение ртути равно $0,475 \text{ Дж/м}^2$.

Вариант 24.

Сколько нужно затратить энергии, чтобы диспергировать $1 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$ масла в виде тумана с дисперсностью частиц $1 \cdot 10^5 \text{ м}^{-1}$. Поверхностное натяжение масла $40,5 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$.

Вариант 25.

Определите свободную поверхностную энергию G^S 1 г тумана, если поверхностное натяжение равно $73 \cdot 10^{-3} \text{ Дж/м}^2$, а дисперсность частиц составляет $4 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$. Плотность воды равна $1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Вариант 26.

Чему равна избыточная поверхностная энергия капли ртути диаметром 1,2 мм, если поверхностное натяжение на границе ртуть – воздух равно $473,5 \cdot 10^{-3} \text{ Дж/м}^2$.

Вариант 27.

Во сколько раз увеличится свободная поверхностная энергия системы при пептизации геля $\text{Fe}(\text{OH})_3$, если при этом радиус частиц геля уменьшится от $1 \cdot 10^{-6}$ до $1 \cdot 10^{-9} \text{ м}$.

Вариант 28.

Во сколько раз уменьшится свободная поверхностная энергия водяного тумана, если при этом радиус его капель увеличится от $1 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ до $1,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

2. Межмолекулярные взаимодействия. Когезия, адгезия смачивание, растекание

В гетерогенных системах различают межмолекулярные взаимодействия внутри фаз и между фазами.

Когезия - притяжение атомов или молекул внутри отдельной фазы, обусловленное межмолекулярными и межатомными взаимодействиями различной природы.

Работа когезии (W_K) - работа, затрачиваемая на обратимый изотермический разрыв тела по сечению, равному единице площади поверхности. Так как при разрыве образуется поверхность в две единицы площади, то работа когезии равна удвоенному значению поверхностного натяжения жидкости на границе с газом:

$$W_K = 2\sigma_{жг} \quad (2.1)$$

Адгезия (прилипание, склеивание) - возникновение механической прочности при контакте поверхностей двух разных веществ.

Причиной адгезии является молекулярное притяжение контактирующих веществ или их химическое взаимодействие. Термодинамической характеристикой адгезии служит работа адгезии.

Работа адгезии (W_A) - работа, которую необходимо совершить для разделения двух контактирующих фаз. Работу адгезии рассчитывают по *уравнению Дюпре*:

$$W_A = \sigma_{ж1г} + \sigma_{ж2г} - \sigma_{ж1ж2} \quad (2.2)$$

где: $\sigma_{ж1г}$, $\sigma_{ж2г}$, $\sigma_{ж1ж2}$ - поверхностные натяжения жидкостей на границе с газом и межфазное натяжение на границе раздела двух жидкостей.

Растекание одной жидкости по поверхности другой

Согласно **правилу Гаркина**, растекание одной жидкости по поверхности другой происходит, если прилипание между двумя жидкостями больше, чем сцепление растекающейся жидкости.

При $W_A - W_K > 0$ происходит растекание, при $W_A - W_K < 0$ растекание не происходит.

Количественно растекание характеризуется **коэффициентом растекания** (ϕ):

$$\phi = W_A - W_K = \sigma_{Ж_1\Gamma} - \sigma_{Ж_2\Gamma} - \sigma_{Ж_1Ж_2} \quad (2.3)$$

Если $\phi > 0$, то происходит растекание, если $\phi < 0$, то растекание не происходит.

Смачивание

Смачивание (адгезия жидкости) - поверхностное явление, заключающееся во взаимодействии жидкости с твердым или другим жидким веществом при наличии одновременного контакта трех несмешивающихся фаз, одна из которых обычно является газом (воздух).

При нанесении небольшого количества жидкости на поверхность твердого тела или на поверхность другой жидкости, имеющей большую плотность, возможны два случая: в первом случае жидкость растекается - **смачивает** поверхность (рис. 1), в другом случае приобретает форму капли - наблюдается явление **несмачивания** (рис. 2).

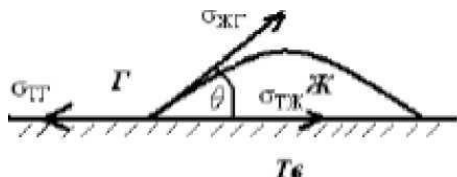


Рис. 1. Капля жидкости смачивает поверхность

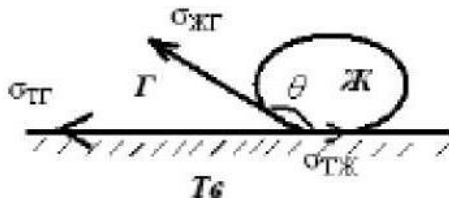


Рис. 2. Капля жидкости не смачивает поверхность

Мерой смачивания является **краевой угол смачивания** θ , образуемый твердой поверхностью и касательной, проведенной в точку соприкосновения трех фаз.

В состоянии равновесия все три силы ($\sigma_{ТГ}$, $\sigma_{ТЖ}$, $\sigma_{ЖГ}$) должны уравновешивать друг друга.

Вместо $\sigma_{ЖГ}$ берут ее проекцию на плоскость $\sigma_{ЖГ} \cdot \cos \theta$

Тогда:

$$\sigma_{ТГ} = \sigma_{ТЖ} + \sigma_{ЖГ} \cdot \cos \theta.$$

Отсюда:

$$\cos \theta = \frac{\sigma_{ТГ} - \sigma_{ТЖ}}{\sigma_{ЖГ}} \quad (2.4)$$

Полученное соотношение (4) называют законом Юнга.

Из закона Юнга следует, что изменяя поверхностное натяжение, можно управлять смачиванием:

1. Если $\sigma_{ТГ} > \sigma_{ТЖ}$, то $\cos \theta > 0$ и $\theta < 90^\circ$ - поверхность смачивается данной жидкостью.

2. Если $\sigma_{ТГ} < \sigma_{ТЖ}$, то $\cos \theta < 0$ и $\theta > 90^\circ$ - поверхность данной жидкостью не смачивается.

3. Если $\sigma_{ТГ} = \sigma_{ТЖ}$, то $\cos \theta = 0$ и $\theta = 90^\circ$ - граница между смачиваемостью и несмачиваемостью.

Полного несмачивания, т.е. такого положения, когда краевой угол равен 180° , практически никогда не наблюдается, так как при соприкосновении конденсированных тел поверхностная энергия всегда уменьшается.

Различные жидкости неодинаково смачивают одну и ту же поверхность. Согласно **приближенному правилу** – лучше смачивает поверхность та жидкость, которая ближе по полярности к смачиваемому веществу.

Для сравнительной оценки смачиваемости поверхностей различными жидкостями обычно проводят сопоставление с водой. По виду избирательного смачивания все твердые тела делят на группы:

- гидрофильные (олеофобные) материалы – лучше смачиваются водой, чем неполярными жидкостями: кварц, силикаты, карбонаты, оксиды и гидроксиды металлов, минералы.

- гидрофобные (олеофильные) материалы – лучше смачиваются неполярными жидкостями, чем водой: графит, уголь,

сера, органические соединения с большим содержанием углеродородных групп.

Смачивание сопровождается уменьшением поверхностной энергии и в процессе смачивания выделяется тепло. Теплота смачивания может характеризовать способность жидкости смачивать поверхность твердого тела (являться мерой гидрофильности поверхности), если нельзя определить краевой угол смачивания.

Для сравнительной оценки лиофильных свойств твердой фазы используют **коэффициент фильности** (β), который равен отношению удельных теплот смачивания водой $Q_{\text{смачивания}}^{H_2O}$ и неполярной органической жидкостью $Q_{\text{смачивания}}^{\text{орг}}$:

$$\beta = \frac{Q_{\text{смачивания}}^{H_2O}}{Q_{\text{смачивания}}^{\text{орг}}} \quad (2.5)$$

Для гидрофильной поверхности $\beta > 1$, для гидрофобной $\beta < 1$.

При ограниченной растворимости жидкостей друг в друге и при отсутствии между ними химических реакции, поверхностное натяжение на границе раздела фаз подчиняется правилу Антонова (1907).

Правило Антонова: если жидкости ограниченно растворимы друг в друге, то поверхностное натяжение на границе $Ж_1/Ж_2$ равно разности между поверхностными натяжениями взаимно насыщенных жидкостей на границе их с воздухом или с их собственным паром:

$$\sigma_{Ж_1/Ж_2} = \sigma_{Ж_1/\Gamma} - \sigma_{Ж_2/\Gamma} \quad (2.6)$$

Примеры выполнения заданий

Пример 1.

Вычислите поверхностное натяжение на границе раздела бензол – вода после взбалтывания бензола с водой и разделения фаз. Поверхностное натяжение бензола и воды на границе с воздухом соответственно равны 0,0288 и 0,0727 Дж/м².

Решение:

Вычислим поверхностное натяжение на границе раздела двух жидкостей по правилу Антонова (2.6):

$$\sigma_{\frac{\text{ж}_1}{\text{ж}_2}} = \sigma_{\frac{\text{ж}_1}{\Gamma}} - \sigma_{\frac{\text{ж}_2}{\Gamma}} = 0,0721 - 0,0288 = 0,0439 \text{ Дж/м}^2.$$

Пример 2.

Вычислите коэффициент растекания и определите, будет ли гексан растекаться по поверхности воды, если работа когезии для гексана равна 0,0328 Дж/м², а работа адгезии гексана к воде равна 0,0401 Дж/м².

Решение:

Вычислим коэффициент растекания по правилу Гаркинса (2.3):

$\varphi = W_A - W_K = 0,0401 - 0,0328 = 0,0073 \text{ Дж/м}^2 > 0$, следовательно, гексан будет растекаться по поверхности воды.

Пример 3.

Вычислите коэффициент растекания для октана при 20°C. Поверхностное натяжение воды, октана и межфазное натяжение соответственно равны: 0,0728, 0,0218 и 0,0486 Дж/м². Будет ли октан растекаться по поверхности воды?

Решение:

Вычислим коэффициент растекания по правилу Гаркинса (2.3):

$$\varphi = \sigma_{\text{ж}_1\Gamma} + \sigma_{\text{ж}_2\Gamma} - \sigma_{\text{ж}_1\text{ж}_2}$$

$$\varphi = 0,0728 - 0,0218 - 0,0486 = 0,0024 \text{ Дж/м}^2 > 0,$$

следовательно, октан будет растекаться по поверхности воды.

Пример 4.

Теплота смачивания твёрдой поверхности водой составляет 85,415 кДж/кг, а бензолом равна 30,948 кДж/кг. Является ли данная поверхность гидрофильной?

Решение:

По уравнению (2.5) рассчитаем коэффициент фальности:

$$\beta = \frac{Q_{\text{смачивания}}^{H_2O}}{Q_{\text{смачивания}}^{\text{орг}}} = \frac{85,42}{30,95} = 2,76.$$

$\beta > 1$, следовательно, данная поверхность является гидрофильной.

Задания для самостоятельного выполнения

Вариант 1.

Вода взболтана с бензольным раствором амилового спирта. Найдите поверхностное натяжение на границе раздела фаз, если поверхностное натяжение бензольного раствора спирта и воды на границе с воздухом соответственно равны $0,0414$ и $0,0727$ Дж/м².

Вариант 2.

По коэффициенту растекания определите, будет ли растекаться сероуглерод CS_2 по воде, если работа когезии для сероуглерода равна $0,0628$ Дж/м², а работа адгезии сероуглерода к воде равна $0,0558$ Дж/м².

Вариант 3.

Теплота смачивания угля водой равна $24,685$ кДж/кг, а бензолом $66,946$ кДж/кг. Является ли данная поверхность гидрофильной?

Вариант 4.

Вычислите коэффициент растекания для хлороформа при 20°C . Поверхностное натяжение воды, хлороформа и межфазное натяжение соответственно равны: $0,0728$, $0,0273$ и $0,0277$ Дж/м². Будет ли хлороформ растекаться по поверхности воды?

Вариант 5.

Определите поверхностное натяжение водного раствора NaCl, если после взбалтывания его с бензолом межфазное натяжение составляет $0,0454$ Дж/м². Поверхностное натяжение бензола на границе с воздухом составляет $0,0288$ Дж/м².

Вариант 6.

Вычислите коэффициент растекания по воде для бензола и анилина, если работа когезии для бензола равна $0,0577$ Дж/м², для анилина равна $0,0832$ Дж/м², а работы адгезии соответственно равны $0,0666$ и $0,1096$ Дж/м². Объясните различие в коэффициентах растекания.

Вариант 7.

Теплота смачивания силикагеля водой составляет $38,074$ кДж/кг, а бензолом равна $18,410$ кДж/кг. Является ли данная поверхность гидрофильной?

Вариант 8.

Вычислите коэффициент растекания олеиновой кислоты по поверхности воды при 20°C. Поверхностное натяжение воды, кислоты и межфазное натяжение соответственно равны: 0,0728, 0,0323 и 0,0160 Дж/м². Будет ли кислота растекаться по поверхности воды?

Вариант 9.

Определите поверхностное натяжение водного раствора сахарозы, если после взбалтывания его с бензолом межфазное натяжение составляет 0,0439 Дж/м². Поверхностное натяжение бензола на границе с воздухом равно 0,0288 Дж/м².

Вариант 10.

Взяты вещества: гептан и гептиловая кислота. Какое из них будет лучше растекаться по воде, если работы когезии соответственно равны: 0,0402 и 0,0556 Дж/м², а работы адгезии равны: 0,0419 и 0,0948 Дж/м². Объясните различие в коэффициентах растекания.

Вариант 11.

Коэффициент фильности дисперсной фазы $\beta = 3,5$, а теплота смачивания ее водой равна 100,498 кДж/кг. Определите теплоту смачивания данного вещества бензолом. Является ли данная поверхность гидрофильной?

Вариант 12.

Будет ли растекаться йодбензол по поверхности воды при 16,8°C, если поверхностное натяжение воды, йодбензола и межфазное натяжение соответственно равны: 0,0733, 0,0403, 0,0457 Дж/м²?

Вариант 13.

Найдите поверхностное натяжение на границе раздела гексан – вода после взбалтывания гексана с водой и разделения фаз. Поверхностное натяжение гексана и воды на границе с воздухом соответственно равны 0,0184 и 0,0727 Дж/м².

Вариант 14.

Взяты вещества: йодистый этил и гептиловая кислота. Какое из них будет лучше растекаться по воде, если работы когезии соответственно равны: 0,0498 и 0,0556 Дж/м², а работы адгезии равны: 0,0637 и 0,0948 Дж/м². Объясните различие в коэффициентах растекания.

Вариант 15.

Теплота смачивания силикагеля водой равна 38,074 кДж/кг, а гексаном равна 18,420 кДж/кг. Является ли данная поверхность гидрофобной?

Вариант 16.

Будет ли растекаться бензол по поверхности воды при 20°C, если поверхностное натяжение воды, бензола и межфазное натяжение соответственно равны: 0,0728, 0,0288, 0,0351 Дж/м²?

Вариант 17.

Определите поверхностное натяжение водного раствора бутанола, если после взбалтывания его с бензолом межфазное натяжение составляет 0,0355 Дж/м². Поверхностное натяжение бензола на границе с воздухом равно 0,0288 Дж/м². Как введение в водный раствор бутанола влияет на поверхностное натяжение воды?

Вариант 18.

Взяты вещества: йодистый этил и анилин. Какое из них будет лучше растекаться по воде, если работы когезии соответственно равны: 0,0498 и 0,0832 Дж/м², а работы адгезии равны: 0,0637 и 0,1096 Дж/м²?

Вариант 19.

Теплота смачивания угля водой равна 24,685 кДж/кг, а гексаном составляет 67,000 кДж/кг. Является ли данная поверхность гидрофильной?

Вариант 20.

Будет ли растекаться гексан по поверхности воды при 20°C, если поверхностное натяжение воды, гексана и межфазное натяжение соответственно равны: 0,0728, 0,0184, 0,0471 Дж/м².

Вариант 21.

Найдите поверхностное натяжение на границе раздела хлороформ – вода после взбалтывания хлороформа с водой и разделения фаз. Поверхностное натяжение хлороформа и воды на границе с воздухом соответственно равны $0,0271$ и $0,0727$ Дж/м².

Вариант 22.

Взяты вещества: бензол и гептиловая кислота. Какое из них будет лучше растекаться по воде, если работы когезии соответственно равны: $0,0577$ и $0,0556$ Дж/м², а работы адгезии равны: $0,0666$ и $0,0948$ Дж/м². Объясните различие в коэффициентах растекания.

Вариант 23.

Теплота смачивания графита водой равна $6,285$ кДж/кг, а бензолом составляет $6,704$ кДж/кг. Является ли данная поверхность гидрофильной?

Вариант 24.

Будет ли сероуглерод растекаться по поверхности воды при 20°C , если поверхностное натяжение воды, сероуглерода и межфазное натяжение соответственно равны: $0,0728$, $0,0323$, $0,0475$ Дж/м²?

Вариант 25.

Гексан взболтан с водным раствором изопропилового спирта. Найдите межфазное натяжение на границе раздела фаз, если поверхностное натяжение водного раствора спирта и гексана на границе с воздухом соответственно равны $0,0695$ и $0,0184$ Дж/м².

Вариант 26.

Взяты вещества: сероуглерод и гептиловая кислота. Какое из них будет растекаться по воде, если работы когезии соответственно равны: $0,0628$ и $0,0556$ Дж/м², а работы адгезии равны: $0,0558$ и $0,0948$ Дж/м². Объясните различие в коэффициентах растекания.

3. Адсорбция на границе твердое тело-газ. Уравнение изотермы адсорбции Лэнгмюра

Адсорбция – процесс самопроизвольного перераспределения компонентов системы между поверхностным слоем и объемной фазой.

Количественно величину адсорбции выражают двумя способами:

- абсолютная адсорбция (A) - количество вещества (моль) в поверхностном слое, приходящееся на единицу площади поверхности или единицу массы адсорбента;
- гиббсовская (избыточная) адсорбция (Γ) — избыточное число моль адсорбата в поверхностном слое (на единицу площади поверхности) по сравнению с тем числом моль, который бы находился в адсорбционном объеме в отсутствии адсорбции.

При больших избытках адсорбата в поверхностном слое величины A и Γ приблизительно равны.

Если адсорбентом является твердое пористое тело, общую поверхность которого определить невозможно, то адсорбцию Γ относят к единице массы адсорбента.

Уравнение изотермы адсорбции Лэнгмюра

Уравнение изотермы мономолекулярной адсорбции Лэнгмюра было получено на основе теории мономолекулярной адсорбции, которая была создана Лэнгмюром при изучении адсорбции газов на твердых адсорбентах:

$$A = A_{\infty} \frac{K \cdot p}{K \cdot p + 1}, \quad (3.1)$$

где p — парциальные давления газа; K — константа адсорбционного равновесия в уравнении Лэнгмюра; A_{∞} — предельная адсорбция (емкость адсорбционного монослоя).

На изотерме адсорбции Лэнгмюра выделяют три участка:

I – в области малых давлений ($p > 0$, $K_p < 1$), тогда: $A = A_{\infty} \cdot K_p$, величина адсорбции линейно растёт с увеличением давления (уравнение Генри);

II – в области больших давлений ($K_p \gg 1$), тогда: $A = A_{\infty}$, вся поверхность адсорбента занята молекулами адсорбата;

III - в области средних давлений.

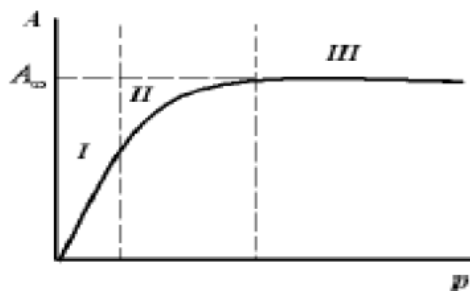


Рис. 2.1. Изотерма мономолекулярной адсорбции Лэнгмюра в координатах $A=f(p)$

Расчёт констант уравнения Лэнгмюра

Константы (K и A_∞) уравнения Лэнгмюра рассчитывают графическим способом. Для этого уравнение (3.1) приводят к линейному виду: $y = a + bx$

$$\frac{p}{A} = \frac{1}{A_\infty K} + \frac{1}{A_\infty} p \quad (3.2)$$

Строят изотерму адсорбции в координатах линейной формы уравнения Лэнгмюра (рис 2.2).

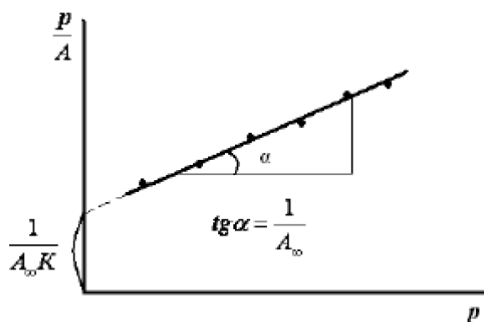


Рис. 2.2. Изотерма адсорбции в координатах линейной формы уравнения Лэнгмюра

Экстраполяция зависимости до оси ординат даёт отрезок, равный $\frac{1}{A_\infty K}$, тангенс угла наклона прямой равен $\text{tg} \alpha = \frac{1}{A_\infty}$.

Пример выполнения задания

При адсорбции углекислого газа на активированном угле были получены следующие данные:

$p \cdot 10^{-2}$, Н/м ²	9,9	49,7	99,8	200
$A \cdot 10^3$, кг/кг	32,0	70,0	91,0	102,0

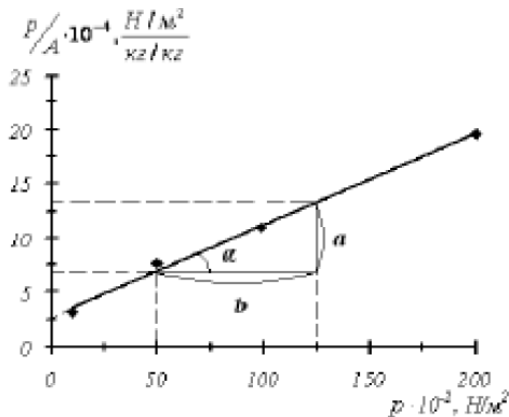
Графически определите константы в уравнении Лэнгмюра, пользуясь которыми, постройте изотерму Лэнгмюра.

Решение:

Для построения изотермы Лэнгмюра в линейных координатах рассчитаем значения p/A для каждого значения p :

$p \cdot 10^{-2}$, Н/м ²	$A \cdot 10^3$, кг/кг	$\frac{p}{A}$, $\frac{\text{Н/м}^2}{\text{кг/кг}}$
9,9	32,0	$\frac{p}{A} = \frac{9,9 \cdot 10^2 \text{ Н/м}^2}{32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/кг}} = 3,1 \cdot 10^4$
49,7	70,0	$\frac{p}{A} = \frac{49,7 \cdot 10^2 \text{ Н/м}^2}{70 \cdot 10^{-3} \text{ кг/кг}} = 7,1 \cdot 10^4$
99,8	91,0	$\frac{p}{A} = \frac{99,8 \cdot 10^2 \text{ Н/м}^2}{91 \cdot 10^{-3} \text{ кг/кг}} = 10,9 \cdot 10^4$
200	102,0	$\frac{p}{A} = \frac{200 \cdot 10^2 \text{ Н/м}^2}{102 \cdot 10^{-3} \text{ кг/кг}} = 19,6 \cdot 10^4$

По полученным значениям строим изотерму адсорбции в координатах линейной формы уравнения Лэнгмюра:



Графически рассчитываем константы уравнения Лэнгмюра:

$$tg\alpha = \frac{1}{A_{\infty}},$$

$$A_{\infty} = ctg\alpha = \frac{b}{a} = \frac{(125-50) \cdot 10^3}{(12-7) \cdot 10^4} = 0,150 \text{ кг/кг},$$

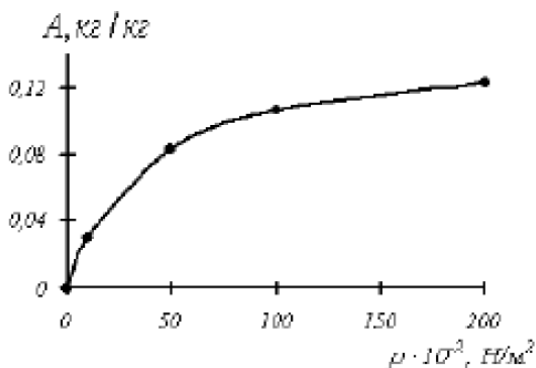
$$\frac{1}{A_{\infty}K} = 2,5 \cdot 10^4 \frac{\frac{\text{Н}}{\text{М}^2}}{\frac{\text{кг}}{\text{кг}}},$$

$$K = \frac{1}{2,5 \cdot 10^4 \cdot 0,150} = 2,63 \cdot 10^{-4} \text{ М}^2/\text{Н}.$$

Рассчитываем величину адсорбции по уравнению (3.1)

$p \cdot 10^{-2}, \text{ Н/М}^2$	$A, \text{ кг/кг}$
9,9	$A = 0,15 \cdot \frac{2,63 \cdot 10^{-4} \cdot 9,9 \cdot 10^2}{1 + 2,63 \cdot 10^{-4} \cdot 9,9 \cdot 10^2} = 0,03$
49,7	$A = 0,15 \cdot \frac{2,63 \cdot 10^{-4} \cdot 49,7 \cdot 10^2}{1 + 2,63 \cdot 10^{-4} \cdot 49,7 \cdot 10^2} = 0,083$
99,8	$A = 0,15 \cdot \frac{2,63 \cdot 10^{-4} \cdot 99,8 \cdot 10^2}{1 + 2,63 \cdot 10^{-4} \cdot 99,8 \cdot 10^2} = 0,106$
200	$A = 0,15 \cdot \frac{2,63 \cdot 10^{-4} \cdot 200 \cdot 10^2}{1 + 2,63 \cdot 10^{-4} \cdot 200 \cdot 10^2} = 0,123$

Полученные расчётные значения адсорбции незначительно отличаются от экспериментальных данных, приведённых в условии задачи. Следовательно, теория Лэнгмюра удовлетворительно описывает адсорбцию углекислого газа на активированном угле. Строим изотерму адсорбции Лэнгмюра:



Задания для самостоятельного выполнения

Вариант 1.

По экспериментальным данным адсорбции фенола на ионите при 298 К графически определите константы уравнения Лэнгмюра, пользуясь которыми, постройте изотерму адсорбции Лэнгмюра.

$C \cdot 10^2$, моль/л	3,0	6,0	7,5	9,0
$A \cdot 10^3$, кг/кг	0,70	1,05	1,12	1,15

Вариант 2.

По экспериментальным данным адсорбции углекислого газа на цеолите при 293 К графически определите константы уравнения Лэнгмюра, пользуясь которыми, постройте изотерму адсорбции Лэнгмюра.

$p \cdot 10^{-2}$, Н/м ²	1,0	10,0	75,0	200,0
$A \cdot 10^3$, кг/кг	35,0	112,0	174,0	188,0

Вариант 3.

По экспериментальным данным адсорбции углекислого газа на активированном угле графически определите константы уравнения Лэнгмюра, пользуясь которыми, постройте изотерму адсорбции Лэнгмюра.

$p \cdot 10^{-2}$, Н/м ²	10,0	44,8	144,0	250,0
$A \cdot 10^3$, кг/кг	32,3	66,7	117,2	145,0

Вариант 4.

По приведенным ниже опытными данным адсорбции N₂O на древесном угле графически определите константы уравнения Лэнгмюра, пользуясь которыми, постройте изотерму адсорбции Лэнгмюра.

$p \cdot 10^{-5}$, Н/м ²	1,90	5,88	12,06	16,82
$A \cdot 10^3$, кг/кг	0,160	0,189	0,199	0,200

Вариант 5.

По приведенным ниже опытным данным адсорбции этилена на древесном угле графически определите константы в уравнении Лэнгмюра, пользуясь которыми, постройте изотерму адсорбции Лэнгмюра.

$p \cdot 10^{-5}$, Н/м ²	1,62	3,44	6,70	10,13
$A \cdot 10^3$, кг/кг	0,130	0,154	0,169	0,172

Вариант 6.

По экспериментальным данным адсорбции фенола на ионите при 423 К графически определите константы в уравнении Лэнгмюра, пользуясь которыми, постройте изотерму адсорбции Лэнгмюра.

$C \cdot 10^2$, моль/л	1,5	4,5	7,5	9,0
$A \cdot 10^3$, кг/кг	0,40	1,05	1,18	1,20

Вариант 7.

При изучении адсорбции N₂O на древесном угле были получены следующие данные:

$p \cdot 10^{-5}$, Н/м ²	1,61	3,55	7,40	12,06
$A \cdot 10^3$, кг/кг	0,150	0,183	0,191	0,199

Графически определите константы уравнения Лэнгмюра, пользуясь которыми, постройте изотерму адсорбции Лэнгмюра.

Вариант 8.

По экспериментальным данным адсорбции углекислого газа на активированном угле найдите константы уравнения Лэнгмюра, пользуясь которыми, рассчитайте и постройте изотерму адсорбции Лэнгмюра.

$p \cdot 10^{-2}$, Н/м ²	9,9	99,8	297,0	398,5
$A \cdot 10^3$, кг/кг	32,0	91,0	107,3	108,0

Вариант 9.

По экспериментальным данным адсорбции углекислого газа на цеолите при 293 К графически определите константы в уравнении Лэнгмюра, пользуясь которыми, постройте изотерму адсорбции Лэнгмюра.

$p \cdot 10^{-2}$, Н/м ²	1,0	5,0	30,0	100,0
$A \cdot 10^3$, кг/кг	35,0	86,0	152,0	178,0

Вариант 10.

По экспериментальным данным адсорбции фенола на ионите при 473 К графически определите константы в уравнении Лэнгмюра, пользуясь которыми, постройте изотерму адсорбции Лэнгмюра.

$C \cdot 10^2$, моль/л	3,0	6,0	7,5	9,0
$A \cdot 10^3$, кг/кг	0,85	1,30	1,35	1,40

Вариант 11.

По экспериментальным данным адсорбции CO₂ на активированном угле графически определите константы в уравнении Лэнгмюра, пользуясь которыми, постройте изотерму адсорбции Лэнгмюра.

$p \cdot 10^{-2}$, Н/м ²	10,0	100,0	250,0	452,0
$A \cdot 10^3$, кг/кг	32,3	96,2	145,0	177,0

Вариант 12.

По экспериментальным данным адсорбции фенола на ионите при 423 К графически определите константы в уравнении Лэнгмюра, пользуясь которыми, постройте изотерму адсорбции Лэнгмюра.

$C \cdot 10^2$, моль/л	3,0	6,0	7,5	9,0
$A \cdot 10^3$, кг/кг	0,80	1,13	1,18	1,20

Вариант 13.

По экспериментальным данным адсорбции фенола на ионите при 473 К графически определите константы в уравнении Лэнгмюра, пользуясь которыми, постройте изотерму адсорбции Лэнгмюра.

$C \cdot 10^2$, моль/л	1,5	4,5	7,5	9,0
$A \cdot 10^3$, кг/кг	0,52	1,13	1,35	1,40

Вариант 14.

По экспериментальным данным адсорбции углекислого газа на цеолите при 293 К графически определите константы в уравнении Лэнгмюра, пользуясь которыми, постройте изотерму адсорбции Лэнгмюра.

$p \cdot 10^{-2}$, Н/м ²	5,0	10,0	30,0	75,0	100,0
$A \cdot 10^3$, кг/кг	86,0	112,0	152,0	174,0	178,0

Вариант 15.

По экспериментальным данным адсорбции углекислого газа на активированном угле найдите константы в уравнении Лэнгмюра, рассчитайте и постройте изотерму адсорбции Лэнгмюра.

$p \cdot 10^{-2}$, Н/м ²	49,7	99,8	200,0	297,0	398,5
$A \cdot 10^3$, кг/кг	70,0	91,0	102,0	107,3	108,0

Вариант 16.

По экспериментальным данным адсорбции аргона на слюде при 90 К вычислите константы уравнения Лэнгмюра графическим способом, постройте изотерму адсорбции Лэнгмюра.

p , Н/м ²	373	680	1266	1733	4532
$A \cdot 10^6$, м ³ /кг	11,8	17,3	23,0	26,0	32,7

Вариант 17.

По экспериментальным данным адсорбции углекислого газа на активированном угле вычислите константы уравнения Лэнгмюра графическим способом, постройте изотерму адсорбции Лэнгмюра.

$p \cdot 10^{-2}$, Н/м ²	9,9	49,7	99,8	200,0	297,0
$A \cdot 10^3$, кг/кг	32,0	70,0	91,0	102,0	107,3

Вариант 18.

При исследовании адсорбции стеариновой кислоты в гексане на порошке стали, получены следующие экспериментальные данные:

C , моль/л	0,031	0,062	0,125	0,250	0,500
$A \cdot 10^6$, моль/м ²	2,05	3,42	4,52	5,26	6,03

Вычислите константы уравнения Лэнгмюра графическим способом, постройте изотерму адсорбции Лэнгмюра.

Вариант 19.

По экспериментальным данным адсорбции аргона на активированном угле вычислите константы уравнения Лэнгмюра графическим способом, постройте изотерму адсорбции Лэнгмюра.

$p \cdot 10^3$, Н/м ²	2,5	3,43	7,42	13,10	17,20
$A \cdot 10^4$, моль/г	1,68	2,27	4,47	6,97	8,19

Вариант 20.

По экспериментальным данным адсорбции СО на древесном угле при 273 К вычислите константы уравнения Лэнгмюра графическим способом, постройте изотерму адсорбции Лэнгмюра.

p , мм.рт.ст.	100	300	500	600	700
$A \cdot 10^3$, моль/г	46,2	113,4	164,6	185,6	205,6

Вариант 21.

По экспериментальным данным адсорбции паров воды макропористым силикагелем вычислите константы уравнения Лэнгмюра графическим способом, постройте изотерму адсорбции Лэнгмюра.

$p \cdot 10^{-2}$, Н/м ²	3,04	7,72	11,69	14,03	17,77
A , моль/кг	4,44	9,22	11,67	13,22	14,89

Вариант 22.

По экспериментальным данным адсорбции бензола на поверхности непористой сажи вычислите константы уравнения Лэнгмюра графическим способом, постройте изотерму адсорбции Лэнгмюра.

p , Н/м ²	1,03	1,29	1,74	2,50	6,67
$A \cdot 10^2$, моль/кг	1,57	1,94	2,55	3,51	4,58

4. Адсорбция на границе раствор-газ

Связь между гиббсовской адсорбцией (Γ) растворенного вещества, то есть избытком растворенного вещества в поверхностном слое, и изменением поверхностного натяжения раствора устанавливает *фундаментальное адсорбционное уравнение Гиббса*:

$$\Gamma = -\frac{c}{RT} \left(\frac{\partial \sigma}{\partial c} \right) \quad (4.1)$$

Из адсорбционного уравнения Гиббса следует, что концентрирование вещества в поверхностном слое или переход его в объемную фазу определяется знаком производной $\partial \sigma / \partial c$.

Предельное значение этой производной при $c \rightarrow 0$ взятой со знаком «минус», называется *поверхностной активностью g* :

$$g = -\left(\frac{\partial \sigma}{\partial c} \right)_{c \rightarrow 0} \quad (4.2)$$

Поверхностная активность связана с величиной гиббсовской адсорбции уравнением:

$$\Gamma = \frac{c}{RT} g \quad (4.3)$$

Вещества, способные снижать поверхностное натяжение растворителя, называются поверхностно-активными веществами (ПАВ). Молекулы ПАВ имеют *дифильное* строение, то есть состоят из гидрофильной (полярная группа) и гидрофобной (углеводородная цепь, радикал) группировок. По отношению к воде ПАВ - это органические кислоты, спирты, белки, мыла и др.

При средних и больших концентрациях ПАВ зависимость уменьшения поверхностного натяжения с увеличением концентрации ПАВ описывается эмпирическим уравнением Шишковского:

$$\Delta \sigma = \sigma_0 - \sigma = B \ln(1 + AC) \quad (4.4)$$

где σ_0 – поверхностное натяжение чистого растворителя, σ – поверхностное натяжение раствора, B – константа для всего

гомологического ряда ПАВ; A – константа для конкретного ПАВ.

Уравнение Шишковского в дифференциальной форме имеет вид:

$$-\frac{d\sigma}{dC} = \frac{BA}{1+AC} \quad (4.5)$$

Уравнение, связывающее величину гиббсовской адсорбции (Γ) с константами уравнения Шишковского, имеет вид:

$$\Gamma = \frac{B}{RT} \cdot \frac{AC}{1+AC} \quad (4.6)$$

С другой стороны величина адсорбции ПАВ в поверхностном слое связана с концентрацией уравнением Лэнгмюра:

$$\Gamma = \Gamma_{\infty} \cdot \frac{KC}{1+KC} \quad (4.7)$$

Отсюда константы уравнения Шишковского A и B приобретают определённый физический смысл:

$$B = \Gamma_{\infty} RT, \quad A = K$$

Определение молекулярных характеристик ПАВ

Зная величину предельной адсорбции Γ можно определить:

- площадь (S_0), занимаемую одной молекулой ПАВ в насыщенном адсорбционном слое:

$$S_0 = \frac{1}{\Gamma_{\infty} N_A} \quad (4.8)$$

- длину молекулы ПАВ (δ) или толщину адсорбционного монослоя:

$$\delta = \frac{\Gamma_{\infty} M}{\rho} \quad (4.9)$$

где N_A – число Авогадро $6,022 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹; M – молярная масса адсорбата, ρ – плотность адсорбата.

Примеры выполнения заданий

Пример 1.

При 293 К зависимость поверхностного натяжения от концентрации водного раствора пропилового спирта выражается уравнением Шишковского:

$$\sigma = \sigma_0 - 14,4 \cdot 10^{-3} \ln(1 + 6,6) C$$

Рассчитайте адсорбцию 0,25 М раствора пропилового спирта на поверхности раздела водный раствор-воздух.

Решение:

Из приведённого уравнения Шишковского следует, что:
 $A = 6,6$, $B = 14,4 \cdot 10^{-3}$.

Подставим константы уравнения Шишковского в уравнение (4.6):

$$\begin{aligned} \Gamma &= \frac{B}{RT} \cdot \frac{AC}{1 + AC} = \\ &= \frac{1,4 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Дж}}{\text{м}^2}}{8,314 \frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}} \cdot 293 \text{ К}} * \frac{\frac{6,6 \text{ л}}{\text{моль}} \cdot \frac{0,25 \text{ моль}}{\text{л}}}{1 + \frac{6,6 \text{ л}}{\text{моль}} \cdot \frac{0,25 \text{ моль}}{\text{л}}} = \\ &= 3,57 \cdot 10^{-7} \text{ моль/м}^2 \end{aligned}$$

Пример 2.

При адсорбционном насыщении при 293 К площадь, занимаемая молекулой изобутилового спирта равна $2,97 \cdot 10^{-19} \text{ м}^2$. Вычислите величину предельной адсорбции и постоянную B уравнения Шишковского.

Решение:

Вычислим величину предельной адсорбции, преобразуя уравнение (4.8):

$$\begin{aligned}
 S_0 &= \frac{1}{\Gamma_{\infty} N_A} = \\
 &= \frac{1}{2,97 \cdot 10^{-19} \text{м}^2 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{моль}^{-1}} = \\
 &= 5,6 \cdot 10^{-6} \text{моль/м}^2.
 \end{aligned}$$

Вычислим величину константы B уравнения Шишковского:

$$B = \Gamma_{\infty} R T = 5,6 \cdot 10^{-6} \frac{\text{моль}}{\text{м}^2} \cdot \frac{8,314 \text{ Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}} \cdot 293 \text{ К} = 0,0136 \text{ Дж/м}^2$$

Задания для самостоятельного выполнения

Вариант 1.

Вычислите адсорбцию масляной кислоты на поверхности водного раствора с воздухом при 293 К и концентрации 0,5 моль/л, если зависимость поверхностного натяжения от концентрации выражается уравнением Шишковского:

$$\sigma = \sigma_0 - 16,7 \cdot 10^{-3} \ln(1 + 21,5 \cdot C).$$

Вариант 2.

Вычислите постоянную B уравнения Шишковского и величину предельной адсорбции на границе раздела фаз раствора масляной кислоты – воздух при 17°C, если площадь, занимаемая одной молекулой кислоты на поверхности раздела равна $20,5 \cdot 10^{-20} \text{ м}^2$.

Вариант 3.

Вычислите поверхностную активность валериановой кислоты на границе ее водного раствора с воздухом при 353 К и концентрации 0,01 моль/л по константам уравнения Шишковского: $B = 17,7 \cdot 10^{-3}$, $A = 19,72$.

Вариант 4.

Определите величину адсорбции пропилового спирта на границе раздела водный раствор - воздух при 293 К и концентрации 0,1 моль/л, если зависимость поверхностного натяжения от концентрации выражается уравнением Шишковского:

$$\sigma = \sigma_0 - 14,4 \cdot 10^{-3} \ln(1 + 6,6C).$$

Вариант 5.

По уравнению Гиббса вычислите величину адсорбции паратолуидина на границе раздела водный раствор – воздух при 293 К по следующим данным: $C = 0,08$ моль/л, $\Delta\sigma/\Delta C = -0,180$.

Вариант 6.

Вычислите постоянную B уравнения Шишковского при 293 К и площадь, занимаемую одной молекулой анилина в насыщенном

адсорбционном слое на поверхности его водного раствора, если величина предельной адсорбции составляет $\Gamma_{\infty} = 6,0 \cdot 10^{-6}$ моль/м².

Вариант 7.

Вычислите по уравнению Лэнгмюра величину адсорбции изоамилового спирта при его концентрации 0,2 моль/л на границе раздела водный раствор–воздух при 292 К по значениям констант: $A = 42$, $\Gamma_{\infty} = 8,7 \cdot 10^{-6}$ моль/м².

Вариант 8.

По уравнению Лэнгмюра вычислите величину адсорбции пропионовой кислоты на границе раздела водный раствор – воздух при 20°C, если константы уравнения Шишковского составляют: $A = 7,16$, $B = 12,8 \cdot 10^{-3}$. Концентрация кислоты равна 0,6 моль/л.

Вариант 9.

По уравнению Лэнгмюра вычислите величину предельной адсорбции и площадь, занимаемую одной молекулой пропилового спирта на границе раздела водный раствор – воздух при 293 К, если постоянная уравнения Шишковского $B = 14,4 \cdot 10^{-3}$ Дж/м².

Вариант 10.

Вычислите длину молекулы церотиновой кислоты, адсорбированной из бензольного раствора на поверхность. Площадь поперечного сечения молекулы составляет $S_0 = 2,5 \cdot 10^{-19}$ м², молярная масса кислоты равна 410,43 г/моль. Плотность кислоты составляет $0,863 \cdot 10^3$ кг/м³.

Вариант 11.

По уравнению Гиббса вычислите величину адсорбции паратолуидина на границе раздела водный раствор – воздух при 293 К по следующим данным: $C = 0,005$ моль/л, $\Delta\sigma/\Delta C = -0,325$.

Вариант 12.

Найдите величину адсорбции пропионовой кислоты на поверхности раздела водный раствор – воздух при 290 К и концентрации 0,5 моль/л по следующим значениям констант уравнения Шишковского: $B = 12,5 \cdot 10^{-3}$, $A = 7,73$.

Вариант 13.

Вычислите длину молекулы масляной кислоты, адсорбированной на поверхности раздела водный раствор – воздух, если площадь поперечного сечения молекулы составляет $2,2 \cdot 10^{-19} \text{ м}^2$, молярная масса кислоты равна $88,43 \text{ г/моль}$. Плотность кислоты равна $0,978 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Вариант 14.

Вычислите величину адсорбции при 17°C по уравнению Гиббса для $0,01 \text{ М}$ раствора н-гептиловой кислоты, если поверхностная активность, определенная Ребиндером, составляет $g = 7,6$.

Вариант 15.

Для водного раствора изомасляной кислоты при 291 К найдены значения констант уравнения Шишковского: $B = 13,1 \cdot 10^{-3}$, $A = 2,2$. Вычислите величину адсорбции кислоты при концентрации равной $0,15 \text{ моль/л}$.

Вариант 16.

Вычислите постоянную B уравнения Шишковского при 290 К и площадь, занимаемую одной молекулой изомасляной кислоты на поверхности раздела водный раствор – воздух, если величина предельной адсорбции $\Gamma_\infty = 5,42 \cdot 10^{-6} \text{ моль/м}^2$.

Вариант 17.

Вычислите величину адсорбции валериановой кислоты на поверхности водный раствор – воздух при 293 К и концентрации кислоты равной $0,3 \text{ моль/л}$, используя значения констант уравнения Шишковского: $B = 14,72 \cdot 10^{-3}$, $A = 10,4$.

Вариант 18.

По уравнению Лэнгмюра вычислите величину предельной адсорбции и площадь, занимаемую одной молекулой изопропилового спирта на поверхности раздела водный раствор – воздух при 298 К , если постоянная уравнения Шишковского $B = 14,5 \cdot 10^{-3} \text{ Дж/м}^2$.

Вариант 19.

Определите величину адсорбции изопропилового спирта на поверхности водный раствор – воздух при 290 К и его концентрации 0,05 моль/л, если зависимость поверхностного натяжения от концентрации выражается уравнением Шишковского:

$$\sigma = \sigma_0 - 14,4 \cdot 10^{-3} \ln(1 + 6,6C).$$

Вариант 20.

Вычислите адсорбцию изомасляной кислоты на поверхности водного раствора с воздухом при 290 К и концентрации 0,05 моль/л, если зависимость поверхностного натяжения от концентрации выражается уравнением Шишковского:

$$\sigma = \sigma_0 - 16,7 \cdot 10^{-3} \ln(1 + 21,5 \cdot C).$$

5. Электрокинетические явления

К электрокинетическим явлениям относятся явления относительного перемещения фаз дисперсной системы в электрическом поле (электрофорез, электроосмос) и явления возникновения электрического потенциала при движении частиц дисперсной фазы или дисперсионной среды под действием внешней силы (потенциал течения, потенциал оседания).

Причиной всех электрокинетических явлений является наличие на границе раздела фаз двойного электрического слоя (ДЭС).

Потенциал, возникающий на границе скольжения фаз при их относительном перемещении в электрическом поле, называется электрокинетическим ζ (дзета) потенциалом.

Электрокинетический потенциал отражает свойства ДЭС и определяется экспериментально из электрокинетических явлений.

Электрофорез - явление перемещения частиц дисперсной фазы относительно дисперсионной среды под действием внешнего электрического поля.

Электрокинетический потенциал связан со скоростью электрофореза уравнением Гельмгольца - Смолуховского:

$$\zeta = \frac{U \cdot \eta}{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot H} \quad (5.1)$$

где ζ - величина электрокинетического потенциала, В; η - вязкость среды, Н·с/м²; ε - диэлектрическая проницаемость среды, для водной среды равная 81 (безразмерная величина); ε_0 - электрическая константа (диэлектрическая проницаемость вакуума), равная $8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м; U - линейная скорость движения границы золь-боковая жидкость, м/с; H - напряженность электрического поля, В/м.

Линейную скорость движения границы золь-боковая жидкость рассчитывают как отношение смещения границы раздела за время электрофореза:

$$U = \frac{h}{t} \quad (5.2)$$

где h - смещение границы золь-боковая жидкость за время электрофореза, м; t - время электрофореза, с.

Напряженность электрического поля (градиент потенциала) рассчитывают как отношение приложенной разности потенциалов к расстоянию между электродами

$$H = \frac{E}{l} \quad (5.3)$$

где E - приложенная разность потенциалов, В; l - расстояние между электродами, м.

Линейная скорость движения границы золь - боковая жидкость, отнесенная к единице напряженности электрического поля, называется электрофоретической (электроосмотической) подвижностью (U_0)

$$U_0 = \frac{U}{H}, \quad (5.4)$$

где U_0 - электрофоретическая подвижность, $M^2/B \cdot C$; U - линейная скорость движения границы золь - боковая жидкость, м/с; H - напряженность электрического поля, В/м.

Уравнение, связывающее электрокинетический потенциал с электрофоретической (электроосмотической) подвижностью:

$$\zeta = \frac{\eta}{\varepsilon \cdot \varepsilon_0} U_0 \quad (5.5)$$

Электроосмос - явление перемещения дисперсионной среды относительно неподвижной дисперсной фазы (пористой диафрагмы) под действием внешнего электрического поля.

Расчет электрокинетического потенциала при электроосмосе ведут по уравнению:

$$\zeta = \frac{\eta \cdot \kappa \cdot v}{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot I} \quad (5.6)$$

где ζ - величина электрокинетического потенциала, В; η - вязкость среды, Н·с/м²; ε - диэлектрическая проницаемость среды, для водной среды равная 81 (безразмерная величина); ε_0 - электрическая константа (диэлектрическая проницаемость вакуума), равная $8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м; κ - удельная электрическая проводимость. Ом⁻¹·м⁻¹; v - объемная скорость электроосмоса, м³/с; I - сила тока, А.

Объемная скорость электроосмоса v - скорость перемещения объема раствора V , м³ в единицу времени t , с:

$$v = \frac{V}{t} \quad (5.7)$$

Потенциал течения - явление возникновения разности потенциалов между электродами при продавливании через пористую диафрагму жидкости под действием внешней силы (давления).

Потенциал течения не зависит от площади и толщины диафрагмы, от количества протекающей жидкости, а зависит от давления, поддерживающего течение по уравнению:

$$E_T = \frac{p \cdot \epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot \zeta}{\eta \cdot \kappa} \quad (5.8)$$

где E_T - потенциал течения, В; ζ - величина электрокинетического потенциала, В; η - вязкость среды, Н·с/м²; ϵ - диэлектрическая проницаемость среды, для водной среды равная 81 (безразмерная величина); ϵ_0 - электрическая константа (диэлектрическая проницаемость вакуума), равная $8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м; κ - удельная электрическая проводимость, Ом⁻¹·м⁻¹; p - давление, приводящее жидкость в движение, Н/м².

Потенциал течения связан с объемной скоростью движения жидкости при электроосмосе v соотношением:

$$E_T = \frac{v \cdot p}{I} \quad (5.9)$$

где E_T - потенциал течения, В; p - давление, приводящее жидкость в движение, Н/м²; v - объемная скорость электроосмоса, м³/с; I - сила тока, А.

Потенциал оседания (седиментации) - явление возникновения разности потенциалов между электродами при осаждении частиц дисперсной фазы относительно неподвижной дисперсионной среды под действием внешней силы (силы тяжести).

Примеры выполнения заданий

Пример 1.

Найдите величину электрокинетического потенциала для латекса полистирола, если при электрофорезе смещение цветной границы за 60 мин составляет $h = 2,6$ см. Напряжение, приложенное к электродам $E = 115$ В. Расстояние между электродами $l = 55$ см. Диэлектрическая проницаемость среды $\varepsilon = 81$, вязкость среды $\eta = 1 \cdot 10^{-3}$ Н·с/м².

Решение:

Для расчета величины электрокинетического потенциала подставим уравнения (5.2) и (5.3) в уравнение (5.1):

$$\zeta = \frac{U \cdot \eta}{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot H} = \frac{h \cdot \eta \cdot l}{t \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot E};$$
$$\zeta = \frac{2,6 \cdot 10^{-2} \text{ м} \cdot 1 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{с/м}^2 \cdot 55 \cdot 10^{-2} \text{ м}}{3600 \text{ с} \cdot 81 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м} \cdot 115 \text{ В}} = 0,048 \text{ В}$$

Пример 2.

Вычислите величину электрокинетического потенциала на границе кварцевое стекло - водный раствор хлорида калия, если В процессе электроосмоса были получены следующие данные: сила тока $I = 4 \cdot 10^{-4}$ А, время переноса объема раствора, равного $V = 1 \cdot 10^{-8}$ м³, составляет 12,4 с. Удельная электрическая проводимость среды $\kappa = 1,8 \cdot 10^{-2}$ Ом⁻¹·м⁻¹. Диэлектрическая проницаемость $\varepsilon = 81$, вязкость среды $\eta = 1 \cdot 10^{-3}$ Н·с/м².

Решение:

Для расчета величины электрокинетического потенциала подставим выражение для объемной скорости электроосмоса (5.7) в уравнение (5.6):

$$\zeta = \frac{\eta \cdot \kappa \cdot v}{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot I} = \zeta = \frac{\eta \cdot \kappa \cdot V}{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot I \cdot t}$$

$$\zeta = \frac{1 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{с}/\text{м}^2 \cdot 1,8 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}^{-1} \text{ м}^{-1} \cdot 1 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3}{81 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}/\text{м} \cdot 4 \cdot 10^{-4} \text{ А} \cdot 12,4 \text{ с}} = 0,05 \text{ В}$$

Пример 3.

Под каким давлением должен продавливаться раствор хлорида калия через керамическую мембрану, чтобы потенциал течения был равен $4 \cdot 10^{-3}$ В. Электрокинетический потенциал равен 30 мВ, удельная электрическая проводимость среды $\kappa = 1,3 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}^{-1} \text{ м}^{-1}$. Диэлектрическая проницаемость $\varepsilon = 81$, вязкость среды $\eta = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{с}/\text{м}^2$.

Решение:

Из выражения для расчёта величины потенциала течения (5.8) выразим и рассчитаем давление, приводящее жидкость в движение:

$$p = \frac{E_T \cdot \eta \cdot \kappa}{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot \zeta} = \frac{0,04 \text{ В} \cdot 1 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{с}/\text{м}^2 \cdot 1,3 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}^{-1} \text{ м}^{-1}}{81 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}/\text{м} \cdot 30 \cdot 10^{-3} \text{ В}} = 2,42 \cdot 10^4 \text{ Н}/\text{м}^2$$

Пример 4.

Рассчитайте величину потенциала течения, используя следующие экспериментальные данные: при электроосмотрическом движении водного раствора хлорида калия через мембрану из полистирола объёмная скорость $v = 8 \cdot 10^{-10} \text{ м}^3/\text{с}$, сила тока равна $4 \cdot 10^{-4} \text{ А}$, давление, при котором раствора продавливается через мембрану составляет $2 \cdot 10^4 \text{ Н}/\text{м}^2$.

Решение:

Потенциал течения связан с объёмной скоростью движения жидкости при электроосмосе v по уравнению (5.9):

$$E_T = \frac{p \cdot v}{I} = \frac{2 \cdot 10^4 \text{ Н}/\text{м}^2 \cdot 8 \cdot 10^{-10} \text{ м}^3/\text{с}}{4 \cdot 10^{-4} \text{ А}} = 0,04 \text{ В}$$

Задания для самостоятельного выполнения

Вариант 1.

Найдите величину электрокинетического потенциала ζ для суспензии кварца в воде, если при электрофорезе частицы перемещаются к аноду. Смещение границы за $t = 30$ мин составило 5,0 см. Напряженность электрического поля $H = 10 \cdot 10^2$ В/м. Диэлектрическая проницаемость среды $\epsilon = 81$, вязкость среды $\eta = 1 \cdot 10^{-3}$ Н·с/м².

Вариант 2.

Вычислите величину электрокинетического потенциала на границе кварцевое стекло – водный раствор KCl, если в процессе электроосмоса были получены следующие данные: сила тока $I = 4,5 \cdot 10^{-4}$ А, время перенос объема раствора, равного $V = 0,01 \cdot 10^{-6}$ м³ составляет 10,4 с, удельная электрическая проводимость среды $\kappa = 1,6 \cdot 10^{-2}$ Ом⁻¹·м⁻¹. Диэлектрическая проницаемость $\epsilon = 81$, вязкость $\eta = 1 \cdot 10^{-3}$ Н·с/м².

Вариант 3.

Вычислите величину потенциала течения на границе кварцевая диафрагма – водный раствор KCl, используя следующие опытные данные: давление, при котором жидкость продавливается через диафрагму равно 2000 Н/м², электрокинетический потенциал $\zeta = 0,12$ В, удельная электрическая проводимость среды $\kappa = 8 \cdot 10^{-3}$ Ом⁻¹·м⁻¹, диэлектрическая проницаемость $\epsilon = 81$, вязкость среды $\eta = 1 \cdot 10^{-3}$ Н·с/м².

Вариант 4.

Вычислите скорость электрофореза коллоидных частиц берлинской лазури, если электрокинетический потенциал $\zeta = 0,058$ В, напряженность электрического поля $H = 10 \cdot 10^2$ В/м. Диэлектрическая проницаемость среды $\epsilon = 81$, вязкость среды $\eta = 1 \cdot 10^{-3}$ Н·с/м².

Вариант 5.

При какой силе тока в процессе электроосмотического движения водного раствора KCl через мембрану полистирола его объемная скорость будет равна $v = 5,5 \cdot 10^{-10} \text{ м}^3/\text{с}$. Удельная электрическая проводимость среды $\kappa = 9 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}^{-1}\text{м}^{-1}$. Диэлектрическая проницаемость $\epsilon = 81$, вязкость среды $\eta = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{с}/\text{м}^2$. Величина дзета-потенциала $\zeta = 0,09 \text{ В}$.

Вариант 6.

Рассчитайте величину потенциала течения, используя следующие экспериментальные данные: объемная скорость перемещения водного раствора хлорида натрия равна $v = 6 \cdot 10^{-10} \text{ м}^3/\text{с}$, сила тока составляет $3,6 \cdot 10^{-4} \text{ А}$, давление, при котором раствор продавливается через мембрану, составляет $2,4 \cdot 10^4 \text{ Н}/\text{м}^2$.

Вариант 7.

Найдите величину электрокинетического потенциала коллоидных частиц $AsCl_3$ в воде, если при электрофорезе за $t = 30$ мин граница сместилась $5,4 \text{ см}$. Напряженность электрического поля $H = 8 \cdot 10^2 \text{ В}/\text{м}$. Диэлектрическая проницаемость $\epsilon = 81$, вязкость $\eta = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{с}/\text{м}^2$.

Вариант 8.

Вычислите величину электрокинетического потенциала ζ на границе мембрана из полистирола – водный раствор KCl . В процессе электроосмоса объемная скорость $v = 15 \cdot 10^{-10} \text{ м}^3/\text{с}$, сила тока $I = 7 \cdot 10^{-3} \text{ А}$, удельная электрическая проводимость среды $\kappa = 9 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}^{-1}\text{м}^{-1}$, диэлектрическая проницаемость воды $\epsilon = 81$, вязкость $\eta = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{с}/\text{м}^2$.

Вариант 9.

Вычислите величину потенциала течения, если через пленку коллодия продавливается водный раствор KCl под давлением $2 \cdot 10^4 \text{ Н}/\text{м}^2$, электрокинетический потенциал $\zeta = 0,06 \text{ В}$, удельная электрическая проводимость среды $\kappa = 1,3 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}^{-1}\text{м}^{-1}$, диэлектрическая проницаемость $\epsilon = 81$, вязкость среды $\eta = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{с}/\text{м}^2$.

Вариант 10.

Вычислите скорость электрофореза коллоидных частиц берлинской лазури, если электрокинетический потенциал $\zeta = 0,045$ В, напряженность электрического поля $H = 800$ В/м. Диэлектрическая проницаемость среды $\varepsilon = 81$, вязкость среды $\eta = 1 \cdot 10^{-3}$ Н·с/м².

Вариант 11.

Вычислите объемную скорость электроосмоса U , наблюдаемого в системе: водный раствор KCl – мембрана из полистирола, окрашенная жировым коричневым красителем. Электрокинетический потенциал равен 0,06 В, сила тока $I = 7 \cdot 10^{-3}$ А, удельная электрическая проводимость среды $\kappa = 9 \cdot 10^{-2}$ Ом⁻¹м⁻¹, диэлектрическая проницаемость воды $\varepsilon = 81$, вязкость среды $\eta = 1 \cdot 10^{-3}$ Н·с/м².

Вариант 12.

Вычислите величину электрокинетического потенциала ζ на границе коллоидная мембрана – водный раствор хлорида калия, если при продавливании этого раствора через мембрану под давлением равным $2,66 \cdot 10^4$ Н/м², потенциал течения оказался равным 0,088 В, удельная электрическая проводимость среды $\kappa = 1,3 \cdot 10^{-2}$ Ом⁻¹м⁻¹, диэлектрическая проницаемость $\varepsilon = 81$, вязкость среды $\eta = 1 \cdot 10^{-3}$ Н·с/м².

Вариант 13.

Вычислите величину электрокинетического потенциала ζ гидрозоля сульфида мышьяка, если при электрофорезе смещение цветной границы за $t = 30$ мин составило $h = 3,4$ см. Напряженность электрического поля $H = 520$ В/м. Диэлектрическая проницаемость среды $\varepsilon = 81$, вязкость среды $\eta = 1 \cdot 10^{-3}$ Н·с/м².

Вариант 14.

Вычислите величину электрокинетического потенциала на границе кварцевое стекло – водный раствор хлорида калия, если в процессе электроосмоса были получены следующие данные: $I = 2 \cdot 10^{-3}$ А, время переноса объема раствора $V = 2 \cdot 10^{-8}$ м³ составляет $t = 20$ с. Удельная электрическая проводимость среды $\kappa = 6,2 \cdot 10^{-2}$ Ом⁻¹

$1 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{с} / \text{м}^2$. Диэлектрическая проницаемость воды $\epsilon = 81$, вязкость среды $\eta = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{с} / \text{м}^2$.

Вариант 15.

Вычислите величину электрокинетического потенциала ζ на границе керамической мембраны с водным раствором хлорида калия. Раствор продавливается через мембрану под давлением $3,99 \cdot 10^4 \text{ Н} / \text{м}^2$, потенциал течения оказался равным $0,06 \text{ В}$, удельная электрическая проводимость $\kappa = 1,3 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$, диэлектрическая проницаемость среды $\epsilon = 81$, вязкость среды $\eta = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{с} / \text{м}^2$.

Вариант 16.

Вычислите линейную скорость движения золь-боковая жидкость частиц коллоидной платины, если электрокинетический потенциал $\zeta = 0,06 \text{ В}$, разность потенциалов между электродами 240 В , расстояние между электродами 20 см . Диэлектрическая проницаемость среды $\epsilon = 81$, вязкость среды $\eta = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{с} / \text{м}^2$.

Вариант 17.

Вычислите величину электрокинетического потенциала ζ на границе кварцевое стекло – водный раствор хлорида натрия, если в процессе электроосмоса были получены следующие данные: $I = 8,3 \cdot 10^{-4} \text{ А}$, время переноса объема раствора $V = 1,5 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3$ составляет $t = 15 \text{ с}$, удельная электрическая проводимость среды $\kappa = 2,2 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$. Диэлектрическая проницаемость $\epsilon = 81$, вязкость среды $\eta = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{с} / \text{м}^2$.

Вариант 18.

Какое давление нужно приложить, продавливая через мембрану из углекислого бария 96%-ный раствор этилового спирта, чтобы при этом потенциал течения оказался равен $1,98 \text{ В}$. Электрокинетический потенциал равен $0,054 \text{ В}$, удельная электрическая проводимость среды $\kappa = 1,1 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$, диэлектрическая проницаемость $\epsilon = 81$, вязкость среды $\eta = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{с} / \text{м}^2$.

Вариант 19.

Вычислите величину электрокинетического потенциала ζ золя в метиловом спирте, если скорость электрофореза $U = 6,6 \cdot 10^{-6}$ м/с, градиент напряжения внешнего поля $H = 300$ В/м, диэлектрическая проницаемость среды $\epsilon = 34$, вязкость среды $\eta = 6,12 \cdot 10^{-4}$ Н·с/м².

Вариант 20.

При какой силе тока в процессе электроосмотического движения водного раствора KCl через мембрану полистирола его объемная скорость будет равна $v = 8,6 \cdot 10^{-10}$ м³/с. Удельная электрическая проводимость среды $\kappa = 7,5 \cdot 10^{-2}$ Ом⁻¹м⁻¹, диэлектрическая проницаемость воды $\epsilon = 81$, вязкость среды составляет $\eta = 1 \cdot 10^{-3}$ Н·с/м². Величина электрокинетического потенциала $\zeta = 0,062$ В.

Вариант 21.

Вычислите величину электрокинетического потенциала ζ на границе: мембрана из карбоната бария – 96 %-ный раствор этилового спирта. Потенциал течения равен 0,7 В, приложенное давление составляет $7,9 \cdot 10^3$ Н/м², удельная электропроводность $\kappa = 1 \cdot 10^{-4}$ Ом⁻¹м⁻¹, диэлектрическая проницаемость $\epsilon = 81$, вязкость среды $\eta = 1,2 \cdot 10^{-3}$ Н·с/м².

6. Свойства поверхностно-активных веществ

Коллоидные поверхностно-активные вещества (ПАВ) обладают:

- 1) высокой поверхностной активностью;
- 2) способностью к самопроизвольному переходу в коллоидное состояние при достижении *критической концентрации мицеллообразования (ККМ)*;
- 3) способностью к *солюбилизации* – резкому увеличению растворимости веществ в растворах коллоидных ПАВ вследствие их внедрения внутрь мицеллы.

Поверхностную активность коллоидных ПАВ (g) с учетом ККМ можно приближенно оценить по последующим формулам:

- для неионогенных ПАВ:

$$g \approx -\frac{\sigma_0 - \sigma_{\text{ККМ}}}{\text{ККМ}}, \quad (6.1)$$

- для ионогенных ПАВ:

$$g \approx -\frac{\sigma_0 - \sigma_{\text{ККМ}}}{\text{ККМ}^\nu} \quad (6.2)$$

где σ_0 - поверхностное натяжение воды; $\sigma_{\text{ККМ}}$ - поверхностное натяжение раствора ПАВ при критической концентрации мицеллообразования; ККМ – критическая концентрация мицеллообразования ПАВ; ν – число ионов, образующихся при диссоциации одной молекулы ПАВ.

Поверхностная активность ПАВ зависит от длины углеводородной цепи. Согласно правилу Дюкло-Траубе, в гомологическом ряду жирных кислот при удлинении углеводородной цепи на одну CH_2 -группу поверхностная активность увеличивается в 3-3,5 раза (в среднем в 3,2 раза).

Зависимость между ККМ и числом CH_2 -звеньев в молекулах водорастворимых ПАВ выражается уравнением

$$\lg \text{ККМ} = A - Bn \quad (6.3)$$

где A и B – константы для данного типа ПАВ (A зависит от природы и числа гидрофильных групп и температуры; B

характеризует энергию растворения, приходящуюся на одну CH_2 -группу); n – число атомов углерода в алкильной цепи.

Значение ККМ водорастворимых ПАВ зависит от строения углеводородных цепочек (их разветвленности, наличия двойных связей, циклов и т.д.).

При добавлении индифферентных электролитов в растворы ионогенных ПАВ склонность поверхностно-активных ионов к ассоциации повышается, и значение ККМ уменьшается. Для таких систем можно записать:

$$\lg KKM = A' - B'n - k' \lg C \quad (6.4)$$

где A' и B' – постоянные, имеющие тот же физический смысл, что и константы A и B ; k' – константа; C – общая концентрация противоионов индифферентного электролита.

При образовании мицелл в растворах коллоидных ПАВ происходит резкое изменение их свойств, которое в большинстве случаев выражается в появлении характерных изломов на зависимостях «свойство – концентрация ПАВ» (рис. 1). По точкам этих изломов можно с большой точностью определить значения ККМ.

Одна ветвь при более низких концентрациях описывает свойства системы в молекулярном состоянии, а другая – в коллоидном. Абсциссу точки излома условно считают соответствующей переходу молекул в мицеллу, т. е. критической концентрацией мицеллообразования.

Для определения ККМ чаще используется кондуктометрический метод и метод, основанный на измерении поверхностного натяжения растворов ПАВ.

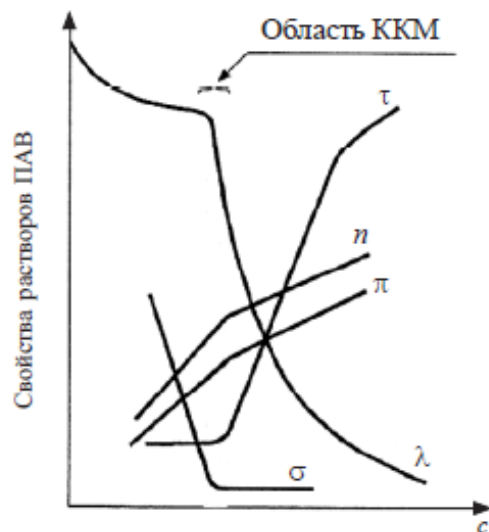


Рис. 6.1. Зависимость мутности τ , эквивалентной электропроводности λ , поверхностного натяжения σ , показателя преломления n , осмотического давления π ионогенного ПАВ в воде от его концентрации

Примеры для выполнения

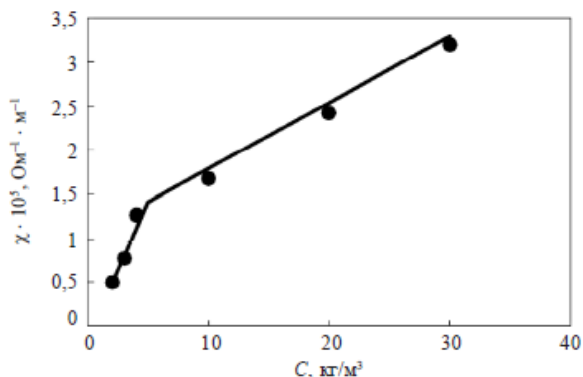
Пример 1.

По данным кондуктометрического метода графически определите ККМ водного раствора лаурата натрия:

Концентрация мыла $C, \text{ кг/м}^3$	2	3	4	10	20	30
Удельная электропроводность, $\chi \cdot 10^5, \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$	0,5	0,77	1,27	1,67	2,43	3,2

Решение:

По табличным данным строим график в координатах $\chi=f(C)$ и находим точку излома, соответствующую ККМ.



Как следует из графика, ККМ равна 5 кг/м^3

Пример 2.

Критическая концентрация мицеллообразования додецилсульфата натрия при 20, 40 и 600 °С составляет соответственно $1,51 \cdot 10^{-3}$; $1,62 \cdot 10^{-3}$ и $1,87 \cdot 10^{-3}$ моль/л. Рассчитайте стандартную теплоту, энергию Гиббса и энтропию мицеллообразования при 20 °С.

Решение:

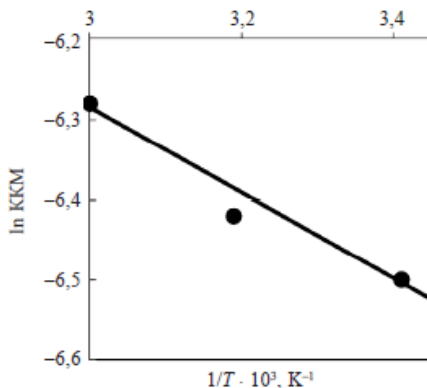
Теплоту мицеллообразования q определяем по температурной зависимости ККМ:

$$\ln KKM = \frac{\Delta H_M^0}{RT} + \text{const} = -\frac{3q}{RT} + \text{const}$$

Рассчитываем значения $\ln KKM$ и $(1/T)$:

$\ln KKM$	-6,50	-6,42	-6,28
$(1/T) \cdot 10^3, K^{-1}$	3,41	3,19	3,00

Строим график зависимости $\ln KKM = f(1/T)$.



Теплоту мицеллообразования определяем по тангенсу угла $tg\alpha$ наклона прямой.

Выбираем по прямой две точки с координатами $(3 \cdot 10^{-3}; -6,285)$ и $(3,4 \cdot 10^{-3}; 6,5)$ и считаем тангенс угла наклона $tg\alpha$:

$$tg\alpha = \frac{-6,285 - (-6,5)}{(3 - 3,4) \cdot 10^{-3}} = -0,537 \cdot 10^3 = -537,$$

Отсюда $q = 8,31 \cdot (-537) = -4462$ Дж/моль = -4,462 кДж/моль.

Энергию Гиббса рассчитываем по соотношению:

$$\Delta G_M^0 = RT \ln KKM = 8,314 \cdot 293 \cdot \ln(1,51 \cdot 10^{-3}) = -15,83 \text{ кДж/моль}$$

Энтропию мицеллообразования находим, пользуясь термодинамическим уравнением

$$\Delta G_M^0 = \Delta H_M^0 - T \cdot \Delta S_M^0$$

$$\Delta S_M^0 = \frac{\Delta H_M^0 - \Delta G_M^0}{T} = \frac{-4,46 - (-15,83)}{293} = 0,039 \text{ кДж/(моль} \cdot \text{K)}$$

Задания для самостоятельного выполнения

Вариант 1.

Для водных растворов лаурата натрия определены логарифмы ККМ при нескольких значениях температуры (концентрация в моль/л). Постройте температурную зависимость поверхностной активности:

$t, ^\circ\text{C}$	$\lg_{\text{ККМ}}$	$\sigma_{\text{ККМ}}$	σ_0
30	-1,68	40	71,18
50	-1,68	38	67,91
90	-1,68	31	60,75

Рассчитайте стандартную теплоту, энергию Гиббса и энтропию мицеллообразования при 50 °С.

Вариант 2.

Определите ККМ додецилсульфата натрия по следующим данным:

$\lg C$	-2,4	-2,18	-2,08	-2,03	-2,01	-1,99	-1,95	-1,82
σ , дин/см	5,4	47	43	42	41	41	41	41

Концентрация ПАВ выражена в моль/л.

Вариант 3.

При измерении разности показателей преломления водных растворов додецилсульфата натрия и воды получены следующие данные:

$C \cdot 10^3$, моль/л	9,1	9,38	9,54	9,78	10,02	10,26	10,50
Δn	54	47	43	42	41	41	41

Определите ККМ додецилсульфата натрия.

Вариант 4.

По данным измерения удельной электропроводности раствора капроната натрия определите ККМ:

$\lg C$	-0,4	-0,25	-0,17	-0,125	0,075	0,17	0,3
$\lg \chi$	2,01	1,95	1,90	1,85	1,80	1,70	1,70

Концентрация ПАВ выражена в г/100 мл.

Вариант 5.

По данным измерения поверхностного натяжения водных растворов додецилсульфата натрия при различных температурах определите ККМ, влияние на ККМ повышения температуры:

- lgC	2,4	2,18	2,08	2,03	2,01	1,99	1,95	1,90	1,88	1,82
20 °C	58	50	-	44	44	44	41	44	-	44
60 °C	54	47	43	42	41	41	41	41	41	41
90 °C	49	40	38	-	-	35	29	29	29	29

Поверхностное натяжение σ в Нм/м. Концентрация ПАВ выражена в моль/л.

Вариант 6.

Рассчитайте теплоту мицеллообразования, а также стандартную энергию Гиббса и энтропию процесса при 293 К, используя следующие значения ККМ для додецилсульфата натрия в растворах NaCl:

T, К	293	311	333
ККМ, моль/л			
в 0,01М растворе NaCl	5,13	5,37	6,17
в 0,2М растворе NaCl	0,76	0,87	1,45

Проанализируйте влияние электролита.

Вариант 7.

Определите ККМ алкилбензосульфата натрия по следующим данным:

lgC	-1,4	-1,17	-1,07	-1,02	-1,00	-0,98	-0,94	-0,83
σ , дин/см	44	37	33	32	31	30	30	30

Концентрация ПАВ выражена в моль/л.

Вариант 8.

Определите ККМ моющего средства алкилсульфата натрия по следующим данным:

lgC	-2,2	-2,00	-1,88	-1,83	-1,81	-1,79	-1,75	-1,62
σ , дин/см	50	43	39	38	37	36	35	36

Концентрация ПАВ выражена в моль/л.

Вариант 9.

По данным измерения удельной электропроводности раствора алкилбензосульфата натрия определите ККМ:

lgC	-0,35	-0,22	-0,15	-0,115	0,065	0,016	0,28
lg χ	1,98	1,95	1,88	1,83	1,78	1,68	1,67

Концентрация ПАВ выражена в моль/л.

Вариант 10.

По данным измерения удельной электропроводности раствора капроната натрия определите ККМ:

lgC	-0,32	-0,28	-0,20	-0,14	0,08	0,19	0,33
lg χ	2,20	2,10	1,95	1,90	1,85	1,75	1,74

Концентрация ПАВ выражена в моль/л.

Вариант 11.

По данным измерения удельной электропроводности раствора алкилбензосульфата натрия определите ККМ:

lgC	-0,30	-0,21	-0,19	-0,11	0,09	0,20	0,35
lg χ	2,50	2,25	2,05	1,95	1,80	1,67	1,66

Концентрация ПАВ выражена в моль/л.

Вариант 12.

По данным измерения удельной электропроводности раствора тетрапропиленбензосульфата определите ККМ:

lgC	-0,25	-0,17	-0,14	-0,11	0,07	0,21	0,32
lg χ	2,41	2,25	2,05	1,95	1,80	1,67	1,66

Концентрация ПАВ выражена в моль/л.

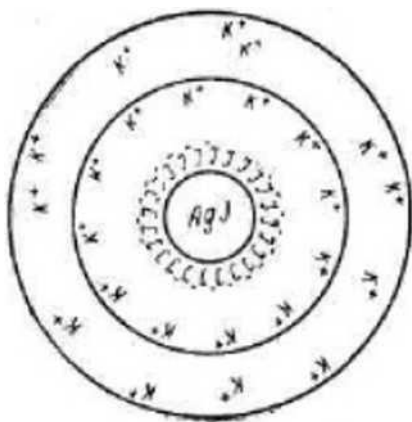
7. Строение коллоидных мицелл

Мицелла - сложное структурное образование, состоящее из агрегата, потенциалопределяющих ионов и противоионов.

Внутреннюю часть мицеллы составляет *агрегат* основного вещества, состоящий из большого числа молекул (атомов) кристаллического или аморфного строения. Агрегат электронейтрален, но обладает большой адсорбционной способностью и способен адсорбировать на своей поверхности ионы из раствора - *потенциалопределяющие ионы (ПОИ)*.

При выборе потенциалопределяющих ионов пользуются эмпирическим *правилом Фаянса-Панета-Пескова*: «На твердой поверхности агрегата в первую очередь адсорбируются ионы, которые:

- входят в состав агрегата;
- способны достраивать кристаллическую решетку агрегата;
- образуют малорастворимое соединение с ионами агрегата;
- изоморфны с ионами агрегата.



Агрегат вместе с *потенциалопределяющими* ионами составляет *ядро мицеллы*. Ядро мицеллы, обладающее большим зарядом, притягивает ионы противоположного заряда - *противоионы (ПИ)* из раствора. Часть противоионов находится в непосредственной близости от ядра, прочно связана с ним за счет адсорбционных и

электростатических сил. и образует плотную часть двойного электрического слоя (*адсорбционный слой*).

Ядро с противоионами плотной части двойного электрического слоя образуют *гранулу* или *коллоидную частицу*. Знак заряда коллоидной частицы определяется знаком заряда

потенциалопределяющих ионов. Коллоидную частицу (гранулу) окружают *противоионы диффузного слоя* - остальная часть противоионов, подвергающихся броуновскому движению, и менее прочно связанная с ядром. В целом образуется *мицелла*. Мицелла в отличие от коллоидной частицы электронеутральна.

Электролит, ионы которого образуют ДЭС, называется *электролитом - стабилизатором*, так как он стабилизирует золь, придавая ему агрегативную устойчивость.

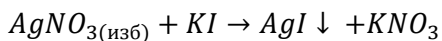
Пример выполнения задания

Золь йодида серебра получен методом химической конденсации при избытке нитрата серебра. К какому электроду будет двигаться частица при электрофорезе? Напишите формулу мицеллы золя.

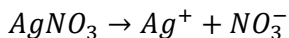
Решение:

1. Рассмотрим образование мицеллы золя йодида серебра при избытке нитрата серебра

2.

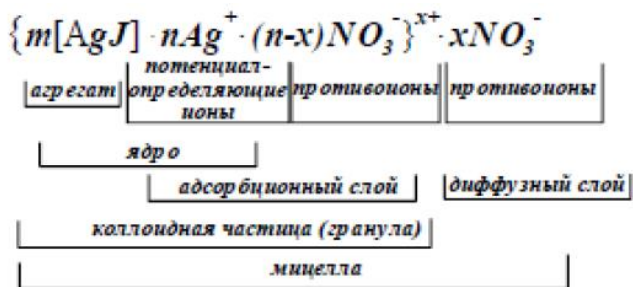


Так как нитрат серебра взят в избытке, следовательно, раствор $AgNO_3$ будет являться электролитом-стабилизатором, ионы которого образуют ДЭС



3. В соответствии с правилом Фаянса-Панета-Пескова. ионы Ag^+ будут являться *потенциалопределяющими* ионами, а ионы NO_3^- - *противоионами*.

4. Формула мицеллы запишется следующим образом:



m - количество молекул или атомов, образующих агрегат;
 n - число потенциалопределяющих ионов, адсорбированных на поверхности агрегата;

$(n-x)$ - число противоионов в плотной части двойного электрического слоя (адсорбционный слой);

x - число противоионов в диффузной части двойного электрического слоя;

x^+ - заряд коллоидной частицы (гранулы).

5. Так как коллоидная частица заряжена положительно, то при электрофорезе она будет двигаться к отрицательно заряженному электроду (катоду).

Задания для самостоятельного выполнения

Вариант 1.

Золь сульфида мышьяка As_2S_3 получен пропусканьем сероводорода через разбавленный раствор оксида мышьяка As_2O_3 . Стабилизатором золя является сероводород. Напишите реакцию образования золя и формулу мицеллы. Определите знак заряда коллоидной частицы.

Вариант 2.

Золь AgI получен при добавлении 8 мл 0,05 М водного раствора KI к 10 мл 0,02 М $AgNO_3$. Напишите формулу мицеллы образовавшегося золя. Определите знак заряда коллоидной частицы.

Вариант 3.

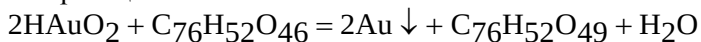
Напишите формулы мицелл золей: $Al(OH)_3$, стабилизированного $AlCl_3$; SiO_2 , стабилизированного Na_2SiO_3 . К каким электродам будут двигаться коллоидные частицы каждого из указанных золей при электрофорезе?

Вариант 4.

Для получения золя $AgCl$ смешали 10 мл 0,02М KCl и 100 мл 0,05 М $AgNO_3$. Напишите формулу мицеллы полученного золя. К какому электроду будет двигаться частица при электрофорезе?

Вариант 5.

Золь золота получают восстановлением золотой кислоты танином по реакции:



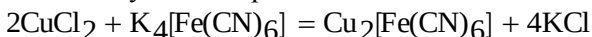
Каков знак заряда коллоидной частицы и формула мицеллы, если при электрофорезе частицы движутся к аноду?

Вариант 6.

Золь «берлинской лазури» $Fe_4[Fe(CN)_6]_3$ получен сливанием равных объемов растворов $K_4[Fe(CN)_6]$ и $FeCl_3$. Одинаковы ли исходные концентрации электролитов, если при электрофорезе частица перемещается к аноду? Напишите формулу мицеллы золя.

Вариант 7.

Гидрозоль железосинеродистой меди $\text{Cu}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ красно - оранжевого цвета получают по реакции двойного обмена:



Одинаковы ли исходные концентрации электролитов, если при электрофорезе частицы перемещаются к аноду? Напишите формулу мицеллы золя $\text{Cu}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$.

Вариант 8.

Золь «берлинской лазури» получен сливанием равных объемов растворов $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ и FeCl_3 . Одинаковы ли исходные концентрации электролитов, если при электрофорезе частицы перемещаются к катоду? Напишите формулу мицеллы золя $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$.

Вариант 9.

Золь гидроксида алюминия получен сливанием равных объемов растворов хлорида алюминия и гидроксида натрия. Одинаковы ли исходные концентрации электролитов, если при электрофорезе частицы перемещаются к аноду? Какой из электролитов взят в избытке? Напишите формулу мицеллы золя $\text{Al}(\text{OH})_3$.

Вариант 10.

Золь AgI получен при постепенном добавлении 20,0 мл 0,01 М раствора KI к 15,0 мл 0,2%-го раствора AgNO_3 . Напишите формулу мицеллы образовавшегося золя и определите направление коллоидной частицы в электрическом поле. Плотность раствора нитрата серебра примите равной единице.

Вариант 11.

Какой объем 0,005 М AgNO_3 нужно прилить к 20,0 мл 0,015 М KI , чтобы получить положительно заряженный золь иодида серебра? Напишите формулу мицеллы.

Вариант 12.

Золь бромида серебра получен сливанием 25,0 мл 0,008 М раствора KBr и 18,0 мл 0,0096 М раствора AgNO_3 . Определите знак заряда коллоидной частицы и составьте формулу мицеллы золя.

Вариант 13.

Свежеосажденный осадок гидроксида алюминия обработали небольшим количеством соляной кислоты, недостаточным для полного растворения осадка. При этом образовался золь $\text{Al}(\text{OH})_3$. Напишите формулу мицеллы золя, учитывая, что в электрическом поле частицы золя перемещаются к катоду.

Вариант 14.

Гидрозоль HgS получен пропусканием H_2S через водный раствор оксида ртути. Напишите уравнение реакции образования золя и формулу мицеллы, если стабилизатором золя является H_2S . Определите знак заряда коллоидной частицы.

Вариант 15.

Напишите формулу мицеллы гидрозоля AgBr , полученного при сливании разбавленного раствора AgNO_3 с избытком KBr . Как изменится строение мицеллы, если гидрозоль AgBr получать при сливании сильно разбавленного раствора KBr с избытком AgNO_3 ?

Вариант 16.

Заряд частиц гидрозоля SiO_2 возникает в результате диссоциации кремневой кислоты H_2SiO_3 , образующейся на поверхности коллоидной частицы при взаимодействии поверхностных молекул SiO_2 с водой. Напишите формулу мицеллы золя.

Вариант 17.

Стабилизатором гидрозоля MnO_2 является перманганат калия KMnO_4 . Напишите формулу мицеллы золя, определите заряд коллоидной частицы. К какому электроду будут двигаться частицы при электрофорезе?

Вариант 18.

Гидрозоль металлического золота может быть получен восстановлением аурата калия KAuO_2 формальдегидом. Стабилизатором золя служит аурат калия. Напишите формулу мицеллы и определите знак заряда коллоидной частицы. К какому электроду будут двигаться частицы при электрофорезе?

Вариант 19.

Золь сульфида мышьяка As_2S_3 получен пропусканием сероводорода через разбавленный раствор оксида мышьяка As_2O_3 . Напишите уравнение реакции образования золя и формулу мицеллы, если при электрофорезе частицы перемещаются к аноду.

Вариант 20.

Золь сульфата бария получен сливанием равных объемов растворов нитрата бария и серной кислоты. Одинаковы ли исходные концентрации электролитов, если при электрофорезе частица перемещается к аноду? Напишите формулу мицеллы золя BaSO_4 .

Вариант 21.

Напишите формулы мицелл золей: $\text{Al}(\text{OH})_3$, стабилизированного AlCl_3 ; SiO_2 , стабилизированного H_2SiO_3 . К каким электродам будут двигаться коллоидные частицы каждого из указанных золей при электрофорезе?

Вариант 22.

Для получения золя AgCl смешали 10 мл 0,02М AgNO_3 и 100 мл 0,05 М KCl . Напишите формулу мицеллы полученного золя. К какому электроду будет двигаться частица при электрофорезе?

Вариант 23.

Золь гидроксида алюминия получен сливанием равных объемов растворов хлорида алюминия и гидроксида натрия. Одинаковы ли исходные концентрации электролитов, если при электрофорезе частица перемещается к катоду? Напишите формулу мицеллы золя $\text{Al}(\text{OH})_3$.

Вариант 24.

Золь гидроксида железа получен методом гидролиза хлорида железа. Напишите формулу мицеллы, если стабилизатором золя является электролит FeOCl . Каков заряд коллоидной частицы?

8. Коагуляция лиофобных золей электролитами.

Выбор иона-коагулятора

Коагуляция - процесс разрушения коллоидных систем за счет слипания частиц, образования агрегатов и их последующего оседания.

Основной причиной, вызывающей коагуляцию, является действие на золь растворов электролитов.

Правила электролитной коагуляции

1. Все без исключения сильные электролиты при определенной концентрации могут вызвать коагуляцию коллоидного раствора.

2. *Правило знака заряда*: коагуляцию коллоидного раствора (золя) вызывает тот ион электролита, знак заряда которого противоположен заряду коллоидной частицы. Этот ион электролита называют *ионом-коагулятором*.

3. Каждый электролит по отношению к данному золю обладает порогом коагуляции.

Порог коагуляции (γ , $C_{кр}$) - минимальная концентрация электролита, достаточная для того, чтобы вызвать явную коагуляцию золя:

$$\gamma = \frac{V \cdot C}{W} \quad (8.1)$$

где γ - порог коагуляции, моль/л; V - объем электролита, вызывающего коагуляцию, мл; C - концентрация электролита, моль/л; W - объем золя, мл.

Коагулирующая способность электролита (P) - величина, обратно пропорциональная порогу коагуляции:

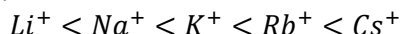
$$P = 1/\gamma \quad (8.2)$$

4. Влияние заряда (валентности) иона коагулятора на коагулирующую способность электролита (правило Шульце-Гарди). *Коагулирующая способность электролита возрастает с увеличением валентности иона - коагулятора*

$$\gamma = \frac{const}{Z^n} \quad (8.3)$$

где Z - валентность (заряд) иона-коагулятора, $n = 2 \pm 6$.

5. Коагулирующая способность ионов коагуляторов одной и той же валентности возрастает с увеличением радиуса иона-коагулятора:



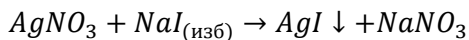
→ возрастание коагулирующей способности →

Пример выполнения задания

В раствор NaI (вещества А) медленно вводят раствор $AgNO_3$ (вещество В), в результате образуется AgI (гидрозоля С). Напишите формулу мицеллы, укажите знак заряда коллоидной частицы. Какой из указанных электролитов-коагуляторов: NaF , $Ca(NO_3)_2$, K_2SO_4 обладает наименьшим порогом коагуляции для AgI (гидрозоля С)?

Решение:

1. Рассмотрим образование мицеллы золя йодида серебра при избытке йодида натрия:

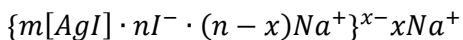


Так как йодид натрия взят в избытке, следовательно, раствор NaI будет являться электролитом-стабилизатором, ионы которого образуют ДЭС



По правилу Фаянса-Панета-Пескова ионы I^- будут являться потенциалопределяющими ионами, тогда ионы Na^+ - противоионами.

2. Тогда формула мицеллы золя запишется следующим образом:



3. Так как коллоидная частица заряжена отрицательно, то по правилу Шульце - Гарди, коагуляцию образовавшегося золя будут вызывать катионы и тем быстрее, чем больше заряд катиона.

Из предложенных электролитов-коагуляторов наибольшим положительным зарядом обладает ион Ca^{2+} , следовательно, электролит $Ca(NO_3)_2$ будет обладать наименьшим порогом коагуляции.

Задания для самостоятельного выполнения

Согласно своему варианту:

1. Напишите уравнение реакции образования гидрозоля С из веществ А и В.

2. Напишите формулу мицеллы образовавшегося гидрозоля С при условии, что вещество А взято в избытке. Укажите знак заряда коллоидной частицы.

Укажите электролит-коагулятор, обладающий меньшим порогом коагуляции.

Вариант	Вещество А(изб.)	Вещество В	Гидрозоль С	Электролит- коагулятор
1	NaI	AgNO ₃	AgI	NaF, Ca(NO ₃) ₂ , K ₂ SO ₄
2	MgCl ₂	NaOH	Mg(OH) ₂	K ₃ PO ₄ , (CH ₃ COO) ₂ Zn, AlCl ₃
3	NH ₄ CNS	AgNO ₃	AgCNS	KNO ₃ , Na ₂ SO ₄ , Ca(NO ₃) ₂
4	CaCl ₂	H ₂ SO ₄	CaSO ₄	ZnCl ₂ , AlCl ₃ , K ₂ SO ₄
5	BaCl ₂	K ₂ SO ₄	BaSO ₄	NH ₄ Cl, AlCl ₃ , K ₃ [Fe(CN) ₆]
6	(NH ₄) ₂ S	AgNO ₃	Ag ₂ S	Ba(NO ₃) ₂ , CH ₃ COOK, Na ₂ SO ₄
7	AlCl ₃	NaOH	Al(OH) ₃	Na ₂ SO ₄ , KNO ₃ , CaCl ₂
8	CrCl ₃	NH ₄ OH	Cr(OH) ₃	K ₂ SO ₄ , Al(NO ₃) ₃ , BaCl ₂
9	Na ₂ SiO ₃	HCl	H ₂ SiO ₃	K ₂ SO ₄ , (CH ₃ COO) ₂ Zn, AlCl ₃
10	ZnCl ₂	(NH ₄) ₂ S	ZnS	(NH ₄) ₂ SO ₄ , Ca(NO ₃) ₂ , K ₃ [Fe(CN) ₆]
11	MnCl ₂	(NH ₄) ₂ S	MnS	K ₂ SO ₄ , Al(NO ₃) ₃ , CaCl ₂
12	FeCl ₃	NaOH	Fe(OH) ₃	Na ₂ SO ₄ , KNO ₃ , BaCl ₂
Вариант	Вещество	Вещество	Гидрозоль	Электролит-

	A(изб.)	B	C	коагулятор
13	K_2SO_4	$Ba(NO_3)_2$	$BaSO_4$	NH_4Cl , $AlCl_3$, $K_3[Fe(CN)_6]$
14	$CoCl_2$	$(NH_4)_2S$	CoS	$ZnCl_2$, $AlCl_3$, K_2SO_4
15	$NiCl_2$	$(NH_4)_2S$	NiS	KNO_3 , Na_2SO_4 , $Ca(NO_3)_2$
16	$CdCl_2$	H_2S	CdS	$(NH_4)_2SO_4$, $Ca(NO_3)_2$, $Al(NO_3)_3$
17	$AgNO_3$	KI	AgI	NaF , $Ca(NO_3)_2$, K_2SO_4
18	$FeCl_3$	$K_4[Fe(CN)_6]$	$Fe_4[Fe(CN)_6]_3$	CH_3COONa , K_2SO_4 , $Al(NO_3)_3$
19	$Zn(NO_3)_2$	$NaOH$	$Zn(OH)_2$	Na_2SO_4 , KCl , $BaCl_2$
20	K_2CrO_4	$AgNO_3$	Ag_2CrO_4	NH_4Cl , $AlCl_3$, $K_3[Fe(CN)_6]$
21	$Pb(NO_3)_2$	KI	PbI_2	$(NH_4)_2SO_4$, $CaCl_2$, $Al(NO_3)_3$
22	$KMnO_4$	$Na_2S_2O_3$	MnO_2	K_2SO_4 , $Al(NO_3)_3$, $CaCl_2$
23	$Zn(NO_3)_2$	$K_3[Fe(CN)_6]$	$Zn_3[Fe(CN)_6]_2$	CH_3COONa , K_2SO_4 , $BaCl_2$
24	$K_4[Fe(CN)_6]$	$FeCl_3$	$Fe_4[Fe(CN)_6]_3$	$ZnCl_2$, $AlCl_3$, K_2SO_4
25	$(NH_4)_2S$	$Pb(NO_3)_2$	PbS	K_2SO_4 , $(CH_3COO)_2Zn$, $AlCl_3$
26	$AgNO_3$	$(NH_4)_2C_2O_4$	$Ag_2C_2O_4$	CH_3COONa , K_2SO_4 , $Al(NO_3)_3$
27	$Hg(NO_3)_2$	H_2S	HgS	Na_2SO_4 , KNO_3 , $BaCl_2$
28	$FeSO_4$	$K_3[Fe(CN)_6]$	$Fe_3[Fe(CN)_6]_2$	$(NH_4)_2SO_4$, $CaCl_2$, $Al(NO_3)_3$
29	Na_3AsO_4	$AgNO_3$	Ag_3AsO_4	NH_4Cl , $AlCl_3$, $K_3[Fe(CN)_6]$
30	$(NH_4)_2S$	$CuSO_4$	CuS	NaF , $Al(NO_3)_3$, K_2SO_4

9. Расчёт порогов коагуляции

Пример выполнения задания

Чтобы вызвать коагуляцию 10 мл гидрозоля $Fe(OH)_3$, полученного гидролизом хлорида железа (III), прилили растворы следующих электролитов:

Электролит	$NaNO_3$	Na_2SO_4	Na_3PO_4
V, мл	8	12	1
C, моль/л	1	0,01	0,01

Рассчитайте пороги коагуляции, определите знак заряда коллоидной частицы и напишите формулу мицеллы, если стабилизатором золя является $FeOCl$.

Решение:

1. Рассчитаем порог коагуляции каждого электролита по (8.1):

$$\gamma_{NaNO_3} = \frac{V \cdot C}{W} = \frac{8 \text{ мл} \cdot 1 \text{ моль/л}}{10 \text{ мл}} = 0,8 \text{ моль/л}$$

$$\gamma_{Na_2SO_4} = \frac{V \cdot C}{W} = \frac{12 \text{ мл} \cdot 0,01 \text{ моль/л}}{10 \text{ мл}} = 0,012 \text{ моль/л}$$

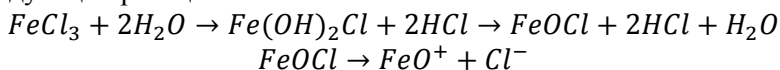
$$\gamma_{Na_3PO_4} = \frac{V \cdot C}{W} = \frac{1 \text{ мл} \cdot 0,01 \text{ моль/л}}{10 \text{ мл}} = 0,001 \text{ моль/л}$$

2. Определим знак заряда частиц золя:

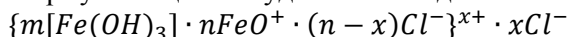
Так как катионы всех электролитов – коагуляторов одновалентны, а их пороги коагуляции разные, что не соответствует правилу Шульце-Гарди, следовательно, коагуляцию золя вызывают не катионы, а анионы электролитов. В данном случае получается: чем выше заряд аниона, тем меньше порог коагуляции (справедливо правило Шульце-Гарди). Следовательно, согласно «правилу знака заряда», заряд коллоидной частицы положительный.

3. Запишем формулу мицеллы золя гидроксида железа, стабилизированного $FeOCl$.

При гидролизе хлорида железа (III) возможно протекание следующих реакций:



Формула мицеллы будет иметь вид:



Задания для самостоятельного выполнения

Вариант 1.

Рассчитайте концентрации электролитов, вызвавших коагуляцию 10,0 мл золя сульфида мышьяка As_2S_3 , если при приливании нижеуказанных объемов растворов электролитов, их пороги коагуляции следующие:

Электролит	KNO_3	$Mg(NO_3)_2$	$Al(NO_3)_3$
V, мл	12,5	0,9	0,8
γ , моль/л	5,0	0,09	0,008

Определите знак заряда коллоидной частицы. Напишите формулу мицеллы золя сульфида мышьяка As_2S_3 , полученного пропусканием сероводорода через разбавленный раствор оксида мышьяка As_2O_3 .

Вариант 2.

Рассчитайте пороги коагуляции, определите знак заряда коллоидной частицы и напишите формулу мицеллы золя гидроксида алюминия, полученного сливанием растворов хлорида алюминия и гидроксида натрия, если для коагуляции 10,0 мл золя был израсходован следующий объем электролитов, указанной концентрации:

Электролит	KNO_3	Na_2CrO_4	$K_3[Fe(CN)_6]$
V, мл	10,0	1,0	0,8
C, моль/л	2,5	0,5	0,05

Вариант 3.

Чтобы вызвать коагуляцию 10,0 мл гидрозоля $Fe(OH)_3$, полученного гидролизом хлорида железа (III), прилили растворы следующих электролитов:

Электролит	KCl	Na_2SO_4	Na_3PO_4
V, мл	8,0	1,0	0,6
C, моль/л	3,0	0,4	0,05

Рассчитайте пороги коагуляции, определите знак заряда коллоидной частицы и напишите формулу мицеллы.

Вариант 4.

Определите, какой объем водных растворов электролитов был прилит к 10,0 мл гидрозоля сульфида мышьяка, если порог коагуляции электролитов, указанной концентрации оказался равным:

Электролит	NaCl	BaCl ₂	AlCl ₃
C, моль/л	5,0	0,4	0,01
γ , моль/л	5,2	0,08	0,007

Определите знак заряда коллоидной частицы. Напишите формулу мицеллы золя As₂S₃, полученного пропусканием сероводорода через разбавленный раствор оксида мышьяка As₂O₃.

Вариант 5.

Во сколько раз уменьшится порог коагуляции золя сульфида мышьяка As₂S₃, если для коагуляции 10,0 мл золя вместо NaCl использовать MgCl₂ или AlCl₃? Концентрации и объем электролитов, пошедших на коагуляцию золя, указаны в таблице.

Электролит	NaCl	MgCl ₂	AlCl ₃
C, моль/л	5,0	0,1	0,01
V, мл	3,0	2,2	2,0

Определите знак заряда коллоидной частицы. Напишите формулу мицеллы золя As₂S₃, полученного пропусканием сероводорода через разбавленный раствор оксида мышьяка As₂O₃.

Вариант 6.

Как изменится величина порога коагуляции золя иодида серебра AgI, если для коагуляции 10,0 мл золя вместо KNO₃ использовать Ca(NO₃)₂ или Al(NO₃)₃. Концентрации и объем электролитов, пошедших на коагуляцию золя, указаны в таблице:

Электролит	KNO ₃	Ca(NO ₃) ₂	Al(NO ₃) ₃
C, моль/л	5,0	0,1	0,001
V, мл	2,0	1,4	13,0

Определите знак заряда коллоидной частицы. Напишите формулу мицеллы золя AgI, полученного при сливании иодида калия с нитратом серебра.

Вариант 7.

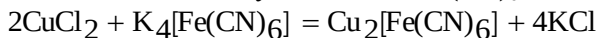
Для коагуляции 10,0 мл гидрозоля $\text{Zn}(\text{OH})_2$ потребовались следующие объемы 0,1 М растворов электролитов:

Электролит	NaCl	Na_2SO_4	Na_3PO_4
V, мл	36	5	0,5

Рассчитайте пороги коагуляции, определите знак заряда коллоидной частицы. Напишите формулу мицеллы золя, полученного при сливании хлорида цинка с гидроксидом натрия.

Вариант 8.

Гидрозоль железосинеродистой меди $\text{Cu}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ получают по реакции двойного обмена между CuCl_2 и $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$:



Каковы концентрации электролитов, если 10,0 мл золя коагулирует при добавлении к нему следующих объемов растворов 0,1 М электролитов, имеющих порог коагуляции, указанный в таблице:

Электролит	KNO_3	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	$\text{Al}(\text{NO}_3)_3$
V, мл	25,0	11,0	10,0
C, моль/л	7,5	0,11	0,01

Определите знак заряда коллоидной частицы. Напишите формулу мицеллы золя.

Вариант 9.

Коагуляция золя сульфата бария была вызвана приливанием к 10,0 мл золя растворов следующих электролитов:

Электролит	NaCl	Na_2SO_4	Na_3PO_4
C, моль/л	5,0	0,1	0,01
V, мл	3,6	3,0	2,5

Рассчитайте пороги коагуляции, определите знак заряда коллоидной частицы. Напишите формулу мицеллы золя BaSO_4 , полученного при сливании хлорида бария с сульфатом натрия.

Вариант 10.

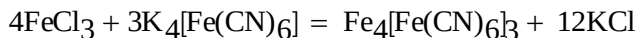
Определите объем раствора электролита, который потребуется для коагуляции 10,0 мл гидрозоля сульфида кадмия CdS, если порог коагуляции и концентрация растворов электролитов следующие:

Электролит	KNO ₃	K ₂ Cr ₂ O ₇	K ₃ [Fe(CN) ₆]
C, моль/л	3,0	0,5	0,05
γ, моль/л	3,0	0,05	0,004

Определите знак заряда коллоидной частицы. Напишите формулу мицеллы золя сульфида кадмия CdS, полученного пропусканием сероводорода через разбавленный раствор хлорида кадмия CdCl₂.

Вариант 11.

Каковы концентрации электролитов, если 10,0 мл золя «берлинской лазури» Fe₄[Fe(CN)₆], полученного в результате реакции:



коагулирует при добавлении к нему следующих объемов растворов электролитов, имеющих порог коагуляции, указанный в таблице:

Электролит	KCl	MgCl ₂	Al(NO ₃) ₃
V, мл	20,0	8,0	3,0
γ, моль/л	10,0	0,16	0,015

Определите знак заряда коллоидной частицы. Напишите предполагаемую формулу мицеллы.

Вариант 12.

Рассчитайте пороги коагуляции, определите знак заряда коллоидной частицы, напишите формулу мицеллы, если для коагуляции 10,0 мл золя гидроксида алюминия, полученного сливанием растворов хлорида алюминия и гидроксида натрия, был израсходован следующий объем электролитов указанной концентрации:

Электролит	KNO ₃	Na ₂ CrO ₄	K ₃ [Fe(CN) ₆]
V, мл	15,0	2,0	2,0
C, моль/л	1,0	0,1	0,01

Вариант 13.

Во сколько раз уменьшится порог коагуляции золя сульфида мышьяка As_2S_3 , если для коагуляции 10,0 мл золя вместо NaCl использовать $MgCl_2$ и $AlCl_3$? Концентрации и объем электролитов, пошедших на коагуляцию золя, указаны в таблице:

Электролит	NaCl	$MgCl_2$	$AlCl_3$
C, моль/л	1,0	0,1	0,01
V, мл	7,0	1,0	1,0

Определите знак заряда коллоидной частицы. Напишите формулу мицеллы золя As_2S_3 , полученного пропусканием сероводорода через разбавленный раствор оксида мышьяка As_2O_3 .

Вариант 14.

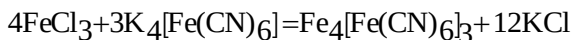
Как изменится величина порога коагуляции золя иодида серебра AgI, если для коагуляции 10,0 мл золя вместо $NaNO_3$ использовать Na_2SO_4 и Na_3PO_4 . Концентрации и объем электролитов, пошедших на коагуляцию золя, указаны в таблице:

Электролит	$NaNO_3$	Na_2SO_4	Na_3PO_4
C, моль/л	4,0	0,1	0,01
V, мл	9,0	6,0	5,0

Определите знак заряда коллоидной частицы. Напишите формулу мицеллы золя AgI, полученного при сливании KI с $AgNO_3$.

Вариант 15.

Каковы концентрации электролитов, если 10,0 мл золя «берлинской лазури» $Fe_4[Fe(CN)_6]$, полученной в результате реакции:



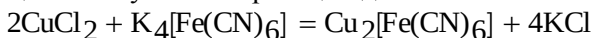
коагулирует при добавлении к нему следующих объемов растворов электролитов, имеющих порог коагуляции, указанный в таблице:

Электролит	$NaNO_3$	Na_2SO_4	Na_3PO_4
V, мл	25,0	11,0	10,0
γ , моль/л	15,0	0,22	0,02

Определите знак заряда коллоидной частицы. Напишите формулу мицеллы.

Вариант 16.

Гидрозоль железосинеродистой меди $\text{Cu}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ красно-оранжевого цвета получают по реакции двойного обмена:



Каковы концентрации электролитов, вызывающих коагуляцию золя, если 10,0 мл золя коагулирует при добавлении к нему следующих объемов растворов электролитов, имеющих порог коагуляции, указанный в таблице:

Электролит	NaNO_3	Na_2SO_4	Na_3PO_4
V, мл	25,0	11,0	10,0
γ , моль/л	7,5	0,11	0,01

Определите знак заряда коллоидной частицы. Напишите формулу мицеллы.

Вариант 17.

Гидрозоль MnO_2 получают восстановлением перманганата калия по реакции:



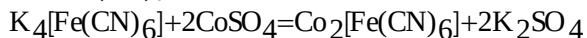
Каковы концентрации электролитов, если 10,0 мл полученного золя коагулирует при добавлении к нему следующих объемов растворов электролитов, имеющих порог коагуляции, указанный в таблице:

Электролит	KCl	MgCl_2	$\text{Al}(\text{NO}_3)_3$
V, мл	10,0	4,5	4,0
γ , моль/л	3,0	0,045	0,004

Определите знак заряда коллоидной частицы. Напишите формулу мицеллы.

Вариант 18.

Гидрозоль $\text{Co}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ получают по реакции двойного обмена между CoSO_4 и $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$:



Как изменится величина порога коагуляции золя, если для коагуляции 10,0 мл золя вместо KCl использовать MgCl_2 или $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$. Концентрации и объем электролитов, пошедших на коагуляцию золя, указаны в таблице:

Электролит	KCl	MgCl_2	$\text{Al}(\text{NO}_3)_3$
------------	-----	-----------------	----------------------------

C, моль/л	4,0	0,1	0,01
V, мл	9,0	6,0	5,0

Определите знак заряда коллоидной частицы. Напишите формулу мицеллы золя.

Вариант 19.

Золь гидроксида кадмия получен путем сливания растворов CdCl_2 и NaOH . Определите знак заряда коллоидной частицы, напишите формулу мицеллы, если пороги коагуляции электролитов следующие:

Электролит	Na_2SO_4	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$	Na_3PO_4	NaCl
γ , моль/л	0,011	0,70	0,001	0,70

Рассчитайте объемы 0,01 М растворов электролитов, вызвавших коагуляцию 10,0 мл золя.

Вариант 20.

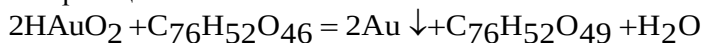
Золь иодида серебра получен сливанием растворов KI и AgNO_3 . Определите знак заряда коллоидной частицы, напишите формулу мицеллы, если пороги коагуляции растворов электролитов следующие:

Электролит	KCl	KNO_3	$\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$	$\text{La}(\text{NO}_3)_3$
γ , моль/л	5,2	5,1	0,08	0,007

Рассчитайте объемы 0,01 М растворов электролитов, вызвавших коагуляцию 10,0 мл золя.

Вариант 21.

Золь золота получают восстановлением золотой кислоты танином по реакции:



Определите знак заряда коллоидной частицы, напишите формулу мицеллы, если пороги коагуляции растворов электролитов следующие:

Электролит	KNO_3	BaCl_2	$\text{La}(\text{NO}_3)_3$
γ , моль/л	3,0	0,05	0,004

Рассчитайте объемы 0,001 М растворов электролитов, вызвавших коагуляцию 10,0 мл золя.

Вариант 22.

Золь гидроксида цинка получен путем сливания растворов ZnCl_2 и NaOH . Определите знак заряда коллоидной частицы, напишите формулу мицеллы, если пороги коагуляции растворов электролитов следующие:

Электролит	Na_2SO_4	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$	Na_3PO_4	NaCl
γ , моль/л	0,05	3,0	0,004	3,0

Рассчитайте объемы 0,01 М растворов электролитов, вызвавших коагуляцию 10,0 мл золя.

Вариант 23.

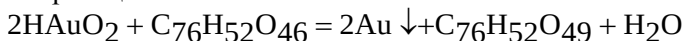
Золь иодида серебра получен путем сливания равных объемов 0,008 М раствора иодида калия и 0,01 М раствора нитрата серебра. Какой из электролитов MgSO_4 или $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ будет иметь больший порог коагуляции для данного золя и почему? Определите знак заряда коллоидной частицы. Напишите формулу мицеллы.

Вариант 24.

Напишите формулу мицеллы золя золота, стабилизированного KAuO_2 . Какой из электролитов NaCl , BaCl_2 или AlCl_3 будет иметь меньший порог коагуляции для данного золя и почему? Определите знак заряда коллоидной частицы. Напишите формулу мицеллы.

Вариант 25.

Золь золота получают восстановлением золотой кислоты танином по реакции:



Каков знак заряда коллоидной частицы и формула мицеллы, если порог коагуляции электролитов равен:

Электролит	KNO_3	BaCl_2	Na_2SO_4	$\text{Al}(\text{NO}_3)_3$
γ , моль/л	2,2	0,04	2,2	0,003

Рассчитайте объемы 0,001 М растворов электролитов, вызвавших коагуляцию 10,0 мл золя.