



**В. Ф. Марков, Т. А. Алексеева,
Л. А. Брусницына, Л. Н. Маскаева**

КОЛЛОИДНАЯ ХИМИЯ ПРИМЕРЫ И ЗАДАЧИ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ ДЛЯ СПО

Рекомендовано Учебно–методическим отделом среднего профессионального образования в качестве учебного пособия для студентов образовательных учреждений среднего профессионального образования

**Книга доступна в электронной библиотечной системе
biblio-online.ru**

**Москва ■ Юрайт ■ 2017
Екатеринбург ■ Издательство Уральского университета**

УДК 544.7(075.32)

ББК 24.6я723

М26

Авторский коллектив — сотрудники кафедр физической и коллоидной химии Химико-технологического института Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина:

Марков Вячеслав Филиппович — доктор химических наук, профессор;

Алексеева Татьяна Анатольевна — кандидат химических наук, доцент;

Брусницына Людмила Александровна — доцент, кандидат химических наук;

Маскаева Лариса Николаевна — доктор химических наук, профессор.

Рецензенты:

кафедра химической технологии древесины, биотехнологии и наноматериалов Уральского государственного лесотехнического университета (заведующий кафедрой — кандидат технических наук, профессор *Юрцев Ю. Л.*);

Зуев М. Г. — доктор химических наук, профессор, главный научный сотрудник Института химии твердого тела Уральского отделения Российской академии наук.

Марков, В. Ф.

М26

Коллоидная химия. Примеры и задачи : учеб. пособие для СПО / В. Ф. Марков [и др.] ; под науч. ред. В. Ф. Маркова. — М. : Издательство Юрайт, 2017 ; Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та. — 186 с. — Серия : Профессиональное образование.

ISBN 978-5-534-02967-3 (Издательство Юрайт)

ISBN 978-5-7996-1922-0 (Изд-во Урал. ун-та)

В пособии изложены основные разделы коллоидной химии: количественные характеристики, образование, строение лиофильных и лиофобных дисперсных систем, их молекулярно-кинетические и оптические свойства, седиментационный анализ, адсорбция, смачивание, капиллярные и электрокинетические явления, кинетика коагуляции. Каждый раздел содержит основные теоретические положения, примеры решения типовых задач и задачи для самостоятельной проработки.

Соответствует актуальным требованиям Федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования и профессиональным требованиям.

Для студентов образовательных учреждений среднего профессионального образования, обучающихся по естественнонаучным специальностям.

УДК 544.7(075.32)

ББК 24.6я723



Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав. Правовую поддержку издательства обеспечивает юридическая компания «Дельфи».

ISBN 978-5-534-02967-3

(Издательство Юрайт)

ISBN 978-5-7996-1922-0

(Изд-во Урал. ун-та)

© Марков В. Ф., Алексеева Т. А., Брусницына Л. А.,
Маскаева Л. Н., 2015

© Уральский федеральный университет, 2015

© ООО «Издательство Юрайт», 2017

ПРЕДИСЛОВИЕ

Коллоидная химия – это наука о физико-химических свойствах дисперсных систем и поверхностных явлениях. Вследствие исключительно большой роли коллоидных систем и коллоидно-химических процессов в различных областях техники и человеческой деятельности и благодаря накоплению теоретического и практического материала, она выделилась в самостоятельную научную дисциплину. Объектами ее изучения являются гетерофазные системы, в которых одна из фаз находится в высокодисперсном (раздробленном) состоянии.

Трудно назвать какую-либо сферу человеческой деятельности, в которой бы не использовались коллоидные системы или коллоидные процессы. Поверхностные явления (смачивание, адгезия, адсорбция, коагуляция, седиментация и др.) лежат в основе таких процессов химической технологии, как измельчение, гранулирование, сушка, фильтрация, флотация, спекание, склеивание, крашение. К наиболее распространенным дисперсным системам относят дымы и туманы, эмульсии, пены, суспензии, порошки, пыли, гели. Дисперсными системами являются продукты питания, лекарства, биологические ткани. В мире каждый год производится сотни миллионов тонн дисперсных веществ и материалов. Знание закономерностей, присущих дисперсным системам, необходимо не только для оптимизации технологических процессов, но и при получении материалов с заданными свойствами, а также при решении задач охраны окружающей среды.

Учебное пособие предназначено для студентов, изучающих дисциплины «Коллоидная химия» и «Поверхностные явления и дисперсные системы». Авторы разработали пособие, отвечающее современным требованиям и способствующее организации как аудиторной, так и самостоятельной работы студентов.

В основу пособия вошли задачи, составленные крупным ученым в области коллоидной химии профессором С. Г. Мокрушиным (1896–1986), основателем на Урале коллоидно-химической школы по исследованию поверхностных явлений и ламинарных системах, условий образования и устойчивости тонких и ультратонких твердофазных пленок на межфазных границах (см.: Задачи по физико-химии коллоидно-дисперсных систем и поверхностных явлений. Свердловск : Изд-во УПИ им. С. М. Кирова. Вып. 1–8. 1954–1978).

Пособие дополнено задачами, составленными авторами с использованием экспериментальных данных из оригинальных статей и монографий, а также изложенными в задачниках, приведенных в перечне используемой литературы. Авторы стремились, чтобы основные вопросы коллоидной химии нашли отражение в приведенных соответствующих задачах.

Сборник состоит из 10 разделов, содержащих более 250 задач. В начале каждого раздела приведен краткий теоретический материал, в котором большое внимание уделяется вопросам, которые недостаточно полно описаны в учебниках, приведены основные формулы для расчетов, а также примеры решения типовых задач. Далее по каждой теме представлены задачи для самостоятельного решения студентами при выполнении ими домашних заданий.

В результате изучения курса коллоидной химии студент должен освоить:

трудовые действия

- владение понятийно-терминологическим аппаратом в области коллоидной химии;
- владение навыками изучения дисперсных систем и поверхностных явлений;
- владение способами описания и классификации дисперсных систем и поверхностных явлений;

необходимые умения

- давать качественную и количественную характеристику дисперсных систем;
- качественно и количественно описывать свойства дисперсных систем и поверхностные явления;

необходимые знания

- виды и характеристики дисперсных систем;
- физико-химические свойства дисперсных систем;
- теоретические основы и модели поверхностных явлений.

1. КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ

1.1. Определение размера частиц и удельной поверхности

Дисперсные системы всегда гетерогенные (гетерофазные). Они состоят из дисперсной фазы и дисперсионной среды.

Объектам изучения коллоидной химии присущи два основных признака:

- 1) гетерогенность или многофазность (качественный признак).
- 2) дисперсность (количественный признак) определяется размерами частиц в трех измерениях.

Основные характеристики, используемые для описания дисперсных систем:

1. Характеристический размер частиц – a ; [м].

Для сферических частиц это диаметр сферы d , для кубических – ребро куба l .

2. Дисперсность (раздробленность) D – это величина, обратная наименьшему размеру частиц.

$$D = \frac{1}{a} \left[\text{м}^{-1} \right]. \quad (1.1)$$

3. Удельная поверхность $S_{\text{уд}}$ – это межфазная поверхность ($S_{1,2}$), приходящаяся на единицу объема дисперсной фазы (V) или ее массы (m).

$$S_{\text{уд}}^V = \frac{S_{1,2}}{V} \left[\frac{\text{м}^2}{\text{м}^3} = \frac{1}{\text{м}} \right], \quad S_{\text{уд}}^m = \frac{S_{1,2}}{m} \left[\frac{\text{м}^2}{\text{кг}} \right]. \quad (1.2)$$

Рассмотрим, как определяется удельная поверхность: если система состоит из n частиц, то

$$S_{уд}^V = \frac{S_{1,2}}{V} = \frac{S_{ч-цы} \cdot n}{V_{ч-цы} \cdot n} = \frac{S_{ч-цы}}{V_{ч-цы}}, \quad (1.3)$$

$$S_{уд}^m = \frac{S_{1,2}}{m} = \frac{S_{ч-цы} \cdot n}{m_{ч-цы} \cdot n} = \frac{S_{ч-цы}}{m_{ч-цы}} = \frac{S_{ч-цы}}{V_{ч-цы} \cdot \rho_{ч-цы}} = \frac{S_{1,2}}{V_{ДФ} \cdot \rho_{ДФ}} = \frac{S_{уд}^V}{\rho_{ДФ}}. \quad (1.4)$$

Для кубических частиц $S_{уд}^V = \frac{6l^2}{l^3} = \frac{6}{l} = 6D$.

Для сферы $S_{уд}^V = \frac{\pi \cdot d^2}{\frac{1}{6}\pi \cdot d^3} = \frac{6}{d} = 6D$.

В общем виде $S_{уд}^V = \frac{k}{d} = k \cdot D$, где k – коэффициент формы, тогда

$$S_{уд}^m = \frac{k}{d \cdot \rho} = \frac{k \cdot D}{\rho}. \quad (1.5)$$

Коэффициенты формы для сферических, кубических частиц $k = 6$, для пленок $k = 2$, для волокон $k = 4$.

С увеличением дисперсности или уменьшением размера частиц возрастает удельная поверхность.

1.2. Методы получения дисперсных систем

Для получения дисперсных систем используют две группы методов: диспергационные и конденсационные (табл. 1.1).

Диспергирование – метод получения дисперсных систем путем измельчения или дробления конденсированного тела.

Конденсация – метод получения дисперсных систем за счет объединения или агрегатирования молекул, или ионов вещества.

Методы получения дисперсных систем

Получение дисперсных систем	
Диспергирование	Конденсация
Механическое диспергирование: выветривание горных пород, растирание в ступке, шаровая мельница, коллоидная мельница)	Физическая конденсация молекул: – из паров – при замене растворителя
Ультразвуковое диспергирование	
Распыление в электрической дуге	Химическая конденсация: – реакции осаждения, обмена, гидролиза, окисления – восстановления; – образование туманов, облаков, нерастворимых частиц в атмосфере и природных водах
Пептизация: переход нерастворимых частиц почв, грунтов в природные воды (пригоден только для свежеприготовленных осадков)	

Дробление веществ до частиц малых размеров требует большой затраты работы, так как поверхность раздела между фазами в таких системах весьма велика. Однако с помощью механических методов диспергирования даже в присутствии стабилизаторов практически невозможно получение частиц с размерами менее 100 нм. В случае диспергирования одной жидкости в другой (несмешивающейся с первой) процесс называется *эмульгированием*. И в этом случае требуется почти обязательное присутствие в системе веществ – эмульгаторов, стабилизирующих ее дисперсный состав (поверхностно-активных веществ, полимеров, порошков). Таким образом, обычно получают частицы радиусом не меньше 500 нм.

Более высокая дисперсность системы может быть достигнута при использовании методов, основанных на агрегации атомов и молекул, т. е. методов конденсации. Именно эти методы чаще всего используются для получения истинно-коллоидных растворов.

Образование дисперсных систем при использовании конденсационных методов происходит в результате либо гетерогенного зарождения, когда возникновение новой фазы осуществляется

на уже имеющихся поверхностях (стенках сосуда, частицах посторонних веществ – ядрах конденсации), либо на поверхностях зародышей, возникающих самопроизвольно в гомогенной среде.

Зародыши в этом случае могут возникать лишь при определенном критическом пересыщении раствора.

Степень пересыщения

$$\gamma = P/P_s \text{ или } \gamma = c/c_s,$$

где P – давление пересыщенного пара; P_s – давление насыщенного пара; c – концентрация в пересыщенном растворе; c_s – концентрация в насыщенном растворе.

Критическая степень пересыщения связана с критическим радиусом $r_{кр}$ следующим соотношением:

$$\ln \gamma_{кр} = \frac{2\sigma V_M}{RT r_{кр}}. \quad (1.6)$$

Самопроизвольное возникновение ядер конденсации зависит от многих причин: химических свойств реагирующих веществ, от характера ассоциации атомов и молекул, вязкости среды, температуры и др.

Процесс образования дисперсной фазы при конденсации имеет две основные стадии:

- 1) возникновение центров конденсации;
- 2) рост зародышей.

Дисперсность получаемых коллоидных систем зависит от соотношения скорости образования зародышей (v_1) и скорости их роста (v_2). При малой скорости образования зародышей ($v_1 < v_2$), в системе образуется небольшое число достаточно крупных частиц. Если же скорость возникновения зародышей велика, а скорость их роста мала ($v_1 > v_2$) в системе, наоборот, возникает большое число мелких частиц. В этом случае образуются высокодисперсные золи, размер частиц в которых позволяет отнести их к коллоидным растворам.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Пример 1.1.

Методом механического диспергирования 5 г толуола в 1 л воды получена дисперсная система с частицами толуола шарообразной формы с радиусом $2,5 \cdot 10^{-7}$ м. Плотность толуола равна $0,867$ г/см³.

Решение:

1. Определяем дисперсность системы D и удельную поверхность $S_{\text{уд}}$.

$$D = \frac{1}{a} \text{ для шарообразной частицы } a = 2r, \text{ т. е.}$$

$$D = \frac{1}{a} = \frac{1}{2 \cdot 2,5 \cdot 10^{-7}} = 2 \cdot 10^6 \text{ м}^{-1},$$

$$S_{\text{уд}}^V = 6D = 6 \cdot 2 \cdot 10^6 = 12 \cdot 10^6 \frac{\text{М}^2}{\text{М}^3},$$

$$S_{\text{уд}}^m = \frac{6D}{\rho} = \frac{6 \cdot 2 \cdot 10^6}{0,867 \cdot 10^3} = 13,8 \cdot 10^3 \frac{\text{М}^2}{\text{кг}}.$$

Плотность переведем в систему СИ:

$$\rho = 0,876 \text{ г/см}^3 = 0,876 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3.$$

2. Рассчитываем параметры шарообразной частицы толуола.

$$V_0 = \frac{4}{3} \pi \cdot r^3 = \frac{4}{3} \cdot 3,14 (2,5 \cdot 10^{-7})^3 = 6,54 \cdot 10^{-20} \text{ м}^3,$$

$$S_0 = 4\pi \cdot r^2 = 4 \cdot 3,14 (2,5 \cdot 10^{-7})^2 = 7,85 \cdot 10^{-13} \text{ м}^2,$$

$$m_0 = \rho \cdot V = 0,867 \cdot 10^3 \cdot 6,54 \cdot 10^{-20} = 5,67 \cdot 10^{-17} \text{ кг}.$$

3. Рассчитываем общую поверхность частиц S и число частиц N в дисперсной системе.

И с п о с о б. $S = S_{\text{уд}}^V \cdot V$, где V – объем всех частиц,

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{0,876 \cdot 10^3} = 5,767 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3,$$

тогда $S = S_{\text{уд}}^V \cdot V = 12 \cdot 10^6 \cdot 5,767 \cdot 10^{-6} = 69,2 \text{ м}^2$.

Число частиц определим, как объем всех частиц разделим на объем одной частицы $N = \frac{V}{V_0} = \frac{5,767 \cdot 10^{-6}}{6,54 \cdot 10^{-20}} = 8,82 \cdot 10^{13}$ шт.

П с п о б. Число частиц определим, как массу всех частиц разделим на массу одной частицы

$$N = \frac{m}{m_0} = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{5,67 \cdot 10^{-17}} = 8,82 \cdot 10^{13} \text{ шт.}$$

$$S = N \cdot S_0 = 8,82 \cdot 10^{13} \cdot 7,85 \cdot 10^{-13} = 69,2 \text{ м}^2.$$

Пример 1.2.

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:

1. Поскольку $S_{\text{уд}}^V = \frac{S_{1,2}}{V}$, то общая поверхность частиц коллоидного золота равна $S_{1,2} = S_{\text{уд}}^V \cdot V$.

2. Удельная поверхность кубических частиц: $S_{\text{уд}}^V = 6D$.

3. Объем золья золота связан с массой золья: $V = m/\rho$.

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

Пример 1.3.

Коллоидные частицы золота имеют дисперсность $D = 108 \text{ м}^{-1}$. 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:

1. Длина нити золота равна произведению количества кубиков золота (n) на длину ребра одного кубика: $L = n \cdot l$.

2. Длина ребра кубика обратно пропорциональна дисперсности: $l = 1/D$.

3. Число частиц золя равно общему объему золя $V_{\text{общ}}$, деленному на объем одного кубика золота $V_{\text{куб}}$: $n = \frac{V_{\text{общ}}}{V_{\text{куб}}}$.

4. Общий объем золя равен: $V_{\text{общ}} = \frac{m}{\rho}$.

5. Объем одного кубика золота равен: $V_{\text{куб}} = l^3$.

6. Тогда длина нити золота будет равна:

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

$$L = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{19,6 \cdot 10^3} \cdot (10^8)^2 = 5,1 \cdot 10^8 \text{ м} = 5,1 \cdot 10^5 \text{ км}.$$

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

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

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

1.3. 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.

1.4. 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.

1.5. Вычислите удельную поверхность гидрозоля 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.

1.6. 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.

1.7. 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 равна $1,8 \cdot 10^3$ кг/м³. Систему считайте монодисперсной. Ответ дайте в м⁻¹ и в м²/кг.

1.8. 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.

1.9. 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.

1.10. 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.

1.11. 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.

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

1.13. Допуская, что в коллоидном растворе золота каждая частица представляет собой куб с длиной ребра $2 \cdot 10^{-8}$ м, рассчитайте: а) число частиц в 1 г золя золота; б) общую площадь поверхности частиц золота. Плотность золота равна $19,6 \cdot 10^3$ кг/м³.

1.14. 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.

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

1.16. Золь ртути состоит из сферических частиц диаметром $d = 6 \cdot 10^{-6}$ м. Чему равна суммарная поверхность частиц золя, образующихся из 2,5 см³ ртути?

1.17. Вычислите суммарную поверхность 250 г угольной пыли с диаметром частиц, равным $6 \cdot 10^{-5}$ м. Плотность угля равна $1,8 \cdot 10^3$ кг/м³.

1.18. Определите величину удельной поверхности суспензии каолина (плотность равна $2,5 \cdot 10^3$ кг/м³), если шарообразные частицы суспензии имеют дисперсность $2 \cdot 10^6$ м⁻¹. Суспензию считайте монодисперсной. Ответ дайте в м⁻¹ и в м²/кг.

1.19. 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 $13,56 \cdot 10^3$ кг/м³.

1.20. 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 $0,8 \cdot 10^3$ кг/м³.

1.21. Какой длины будет нить золота, если 50 г кубиков золота расположить друг за другом. Плотность золота равна $19,6 \cdot 10^3$ кг/м³. Длина ребра кубика золота составляет $4 \cdot 10^{-7}$ м.

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

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

1.24. Рассчитайте удельную объемную и удельную массовую поверхность 5 г эмульсии бензола в воде дисперсностью $D = 2 \text{ мкм}^{-1}$ при температуре 313 К. Плотность бензола при этой температуре равна $0,858 \text{ г/см}^3$.

1.25. Дана дисперсная система с массой дисперсной фазы m , плотностью дисперсной фазы ρ , с частицами дисперсной фазы определенной формы и размера: r – радиус шара, l – длина ребра куба (варианты заданий приведены в табл. 1.2).

1. Рассчитайте дисперсность системы D и удельную поверхность $S_{\text{уд}}$.

2. Рассчитайте параметры частицы дисперсной фазы: объем V_0 , поверхность S_0 , массу m_0 .

3. Рассчитайте общую поверхность всех частиц S и число частиц N в дисперсной системе.

Т а б л и ц а 1.2

Варианты заданий

Вариант	Дисперсная фаза	Дисперсионная среда	Форма частиц	r (l), м	$\rho \cdot 10^{-3}$, кг/м ³	m , кг
1	Сера	Вода	Куб	$2 \cdot 10^{-8}$	2,07	1
2	Платина	Вода	Куб	$4 \cdot 10^{-8}$	21,4	2
3	Пыль угольная	Воздух	Шар	$8 \cdot 10^{-5}$	1,8	10
4	Бензол	Вода	Шар	$8 \cdot 10^{-7}$	0,86	5
5	Ртуть	Вода	Шар	$6 \cdot 10^{-8}$	13,55	4
6	Пыль мучная	Воздух	Шар	$5 \cdot 10^{-5}$	0,82	8
7	Платина	Вода	Куб	$9 \cdot 10^{-9}$	21,4	6
8	Серебро	Вода	Куб	$4 \cdot 10^{-8}$	10,5	0,1

О к о н ч а н и е т а б л . 1.2

Вариант	Дисперсная фаза	Дисперсионная среда	Форма частиц	r (l), м	$\rho \cdot 10^{-3}$, кг/м ³	m , кг
9	Вода	Воздух	Шар	$2 \cdot 10^{-7}$	0,997	5
10	Сера	Вода	Куб	$1 \cdot 10^{-7}$	2,07	3
11	Ртуть	Воздух	Шар	$2 \cdot 10^{-7}$	13,55	0,5
12	Золото	Вода	Куб	$4 \cdot 10^{-9}$	19,3	1
13	Масло растительное	Вода	Шар	$4 \cdot 10^{-6}$	0,92	4
14	Ртуть	Вода	Шар	$8 \cdot 10^{-8}$	13,55	2
15	Пудра сахарная	Воздух	Шар	$6 \cdot 10^{-5}$	0,85	5
16	Толуол	Вода	Шар	$2 \cdot 10^{-6}$	0,87	0,8
17	Серебро	Вода	Куб	$5 \cdot 10^{-8}$	10,5	7
18	Камфара	Вода	Шар	$1 \cdot 10^{-6}$	0,99	1
19	Пыль угольная	Воздух	Куб	$6 \cdot 10^{-5}$	1,8	8
20	Золото	Вода	Шар	$8 \cdot 10^{-9}$	19,3	2
21	Селен	Вода	Шар	$2,8 \cdot 10^{-7}$	4,28	0,3
22	Глина	Вода	Шар	$5,6 \cdot 10^{-6}$	2,7	0,04
23	AgCl	Вода	Шар	$3 \cdot 10^{-6}$	5,6	2
24	Al ₂ O ₃	Вода	Шар	$2,9 \cdot 10^{-9}$	4	0,2
25	Ag ₂ S ₃	Вода	Шар	$6 \cdot 10^{-8}$	3,43	1

2. ТЕРМОДИНАМИКА МЕЖФАЗНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

2.1. Природа поверхностной энергии. Поверхностное натяжение

Наиболее важной характеристикой поверхности является поверхностное натяжение σ .

Поверхностное натяжение – это избыточная энергия, приходящаяся на единицу площади поверхности:

$$\sigma = \frac{\Delta G}{S} \left[\frac{\text{Дж}}{\text{м}^2} = \frac{\text{Н}}{\text{м}} \right]. \quad (2.1)$$

Физическая природа поверхностного натяжения в нескомпенсированности поля межмолекулярных сил на межфазных поверхностях.

Поверхностное натяжение характеризует различия в интенсивности межмолекулярных взаимодействий граничащих фаз. Чем сильнее межмолекулярные связи в веществе, тем больше поверхностное натяжение на его межфазной поверхности.

С термодинамической точки зрения, поверхностное натяжение определяется частной производной от любого термодинамического потенциала по величине площади межфазной поверхности при постоянстве других параметров. Используя потенциал Гиббса (G), можно записать

$$\sigma = \left(\frac{\partial G}{\partial S} \right)_{p, T, n_i}, \quad (2.2)$$

где p – давление; T – температура; n_i – число молей компонентов.

Поверхностная энергия является частью свободной энергии системы в целом. В самопроизвольных процессах эта энергия может быть снижена либо за счет уменьшения площади поверхности и изменения ее формы, либо за счет снижения поверхностного натяжения.

2.2. Факторы, влияющие на поверхностное натяжение

Поверхностное натяжение на границе раздела фаз между жидкостью и газом определяют следующие факторы: химическая природа вещества, температура, природа граничащих фаз, наличие примесей, заряд поверхности, кривизна поверхности жидкости.

Энергия межмолекулярных взаимодействий зависит от температуры, а значит, имеет выраженную температурную зависимость.

Взаимосвязь поверхностного натяжения, температуры и полной поверхностной энергии (внутренней энергии поверхностного слоя) U_s выражается уравнением Гиббса – Гельмгольца:

$$U_s = \sigma - T \left(\frac{\partial \sigma}{\partial T} \right)_p, \quad (2.3)$$

где $\left(\frac{\partial \sigma}{\partial T} \right)_p$ – температурный коэффициент поверхностного натяже-

ния, измеряемый в $\left[\frac{\text{Дж}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \right]$.

Для многих однокомпонентных жидкостей зависимость $\sigma = f(T)$ близка к линейной (рис. 2.1). При линейном характере этой зависимости производная $a = d\sigma/dT$ для данного вещества имеет постоянное значение вплоть до критической температуры T_c , при которой $\sigma = 0$.

Для многих веществ температурные коэффициенты поверхностного натяжения находятся в диапазоне от $-0,1$ до $0,2$ мДж/(м²·К).

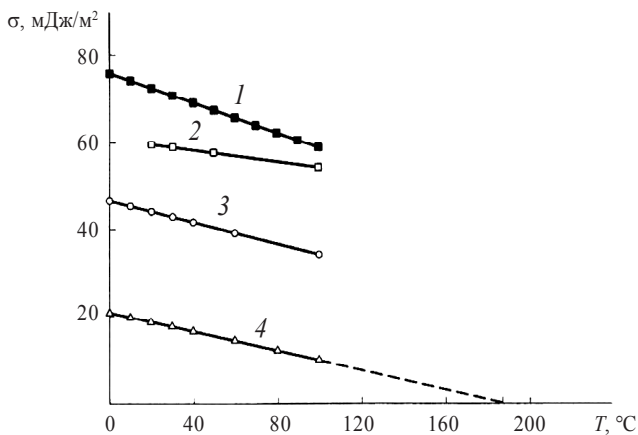


Рис. 2.1. Зависимость поверхностного натяжения жидкостей от температуры: вода (1), глицерин (2), нитробензол (3), гексан (4). Пересечение пунктирной линии с осью абсцисс определяет критическую температуру гексана T_c .

С повышением температуры поверхностное натяжение уменьшается, а теплота образования единицы площади поверхности увеличивается. Это объясняется тем, что с повышением температуры расстояние между молекулами в жидких телах увеличивается, и соответственно равнодействующая межмолекулярных сил (и, следовательно, поверхностное натяжение) уменьшается. С помощью температурного коэффициента можно определить поверхностное натяжение при любой температуре, если известно значение поверхностного натяжения при какой-то температуре, т. е.

$$\sigma_T = \sigma_0 + \left(\frac{d\sigma}{dT} \right) \Delta T, \quad (2.4)$$

где $\Delta T = T_T - T_0$.

Появление кривизны поверхности из-за стремления системы к минимуму поверхностной энергии ведет не только к изменению площади межфазной поверхности, но и к появлению избыточного давления внутри фаз. Взаимосвязь между избыточным внутренним