

# Практическое занятие № 11

## Дисперсные системы

Современная коллоидная химия является наукой о поверхностных явлениях и физико-химических свойствах дисперсных систем.

Основными специфическими особенностями дисперсных систем являются: гетерогенность (многофазность) и дисперсность (раздробленность). Гетерогенность означает, что система состоит из двух и более фаз, а дисперсность предполагает, что одна из фаз обязательно будет раздробленной, ее называют дисперсной фазой. Под дисперсионной средой понимают сплошную фазу, в которой раздроблена дисперсная фаза. Характерным свойством дисперсных систем является наличие большой межфазной поверхности, поэтому определяющими являются свойства поверхности, а не частиц в целом. Характерными являются процессы, протекающие на поверхности, а не внутри фазы.

Мерой раздробленности любой дисперсной системы может служить поперечный размер, либо обратная ему величина, называемая обычно дисперсностью, либо удельная поверхность:

1. Поперечный размер частица ( $a$ ) – диаметр ( $d$ ) для сферических частиц, длина ребра ( $l$ ) куба для кубических частиц.

2. Дисперсность ( $D$ ) – величина, обратная поперечному размеру частицы:

$$D = \frac{1}{d}, \text{ м}^{-1} \quad (1)$$

3. Удельная поверхность ( $S_{уд}$ ) – межфазная поверхность, приходящаяся на единицу объема дисперсной фазы:

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

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

$$S_{уд} = \frac{\sum S_{д.ф.}}{m_{д.ф.}}, \quad \frac{\text{м}^2}{\text{кг}} \quad (3)$$

Все эти величины взаимосвязаны. Чем меньше размер частиц, тем больше дисперсность или удельная поверхность, и наоборот. Удельную поверхность дисперсной фазы не трудно вычислить, если известны размер и форма частиц. Например:

для сферических частиц:

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

тогда:

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

для кубических частиц:

$$S_{\text{куба}} = 6l^2, V_{\text{куба}} = l^3,$$

тогда:

$$S_{\text{уд}} = \frac{6l^2}{l^3} = \frac{6}{l} = 6D, \quad (5)$$

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

**Число сферических частиц ( $n$ )** в  $1 \text{ м}^3$  дисперсной системы равно отношению объема ( $1 \text{ м}^3$ ) системы к объему одной сферической частицы:

$$n = \frac{V_{\text{общ.}}}{V_{\text{шара}}} = \frac{1}{\frac{4}{3}\pi r^3}. \quad (6)$$

**Число сферических частиц ( $n$ )** в  $1 \text{ кг}$  дисперсной системы равно отношению массы ( $1 \text{ кг}$ ) к массе одной частицы. Масса одного шарика золя равна произведению объема шарика на плотность ( $\rho$ ):

$$m_{\text{шара}} = V_{\text{шара}} \cdot \rho = 4/3 \pi r^3 \cdot \rho, \quad (7)$$

тогда, число частиц в  $1 \text{ кг}$  золя для сферических частиц будет равна:

$$n = \frac{m_{\text{общ.}}}{m_{\text{шара}}} = \frac{1}{\frac{4}{3}\pi r^3 \cdot \rho}. \quad (8)$$

Тогда площадь удельной поверхности в  $1 \text{ кг}$  золя будет равна произведению числа частиц на площадь каждой частицы:

$$S_{уд} = S_{шара} \cdot n = \frac{1}{\frac{4}{3}\pi r^3 \cdot \rho} \cdot 4\pi r^2 = \frac{3}{\rho \cdot r} = \frac{6}{d \cdot \rho} = \frac{6D}{\rho} \quad (9)$$

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

Свободная поверхностная энергия  $G_S$  (Дж/м<sup>2</sup>) определяется суммарной поверхностью частиц  $S$  и величиной поверхностного натяжения  $\sigma$ , которую можно рассматривать как величину удельной поверхностной энергии:

$$G_S = \sigma \cdot S. \quad (10)$$

Под поверхностным натяжением  $\sigma$  понимают работу, которую нужно совершить над жидкостью, чтобы увеличить ее поверхность на единицу. Размерность поверхностного натяжения равна Дж/м<sup>2</sup> или эрг/см<sup>2</sup>.

Поверхностное натяжение с повышением температуры уменьшается. При критической точке исчезает различие между граничащими фазами, и поверхностное натяжение равно нулю.

Классифицировать дисперсные системы можно на основе следующих общих признаков:

- агрегатное состояние дисперсной фазы и дисперсионной среды;
- размер и распределение частиц дисперсной фазы по размерам;
- вид дисперсной фазы;
- структура;
- межфазное взаимодействие;

Классификация дисперсных систем в зависимости от агрегатного состояния дисперсной фазы дисперсионной среды приведена в таблице 1.

Таблица 1.

Классификация Оствальда по агрегатному состоянию

коллоидных систем

№ типа системы	Агрегатное состояние дисперсной фазы*	Агрегатное состояние дисперсионной среды*	Обозначение системы	Тип системы	Примеры
1.	г	г	г/г	системы с флуктуациям и плотности	атмосфера Земли
2.	ж	г	ж/г	аэрозоли (туманы)	туман, кучевые облака, тучи
3.	т	г	т/г	аэрозоли (пыли, дымы)	табачный дым, угольная и космическая пыль
4.	г	ж	г/ж	газовые эмульсии, пены	мыльная пена, газированная вода, лечебный кислородный коктейль
5.	ж	ж	ж/ж	эмульсии	молоко, сливочное масло, маргарин, кремы, смазки
6.	т	ж	т/ж	золи, суспензии	взвеси в природных водах, золи

					металлов в воде, суспензии, краски, пасты
7.	г	т	г/т	пористые и капиллярные системы, твердые пены	пемза, силикагель, активированный уголь, пенопласт, пенобетон, хлеб
8.	ж	т	ж/т	пористые и капиллярные системы, твердые эмульсии	адсорбенты, почвы, влажные грунты, некоторые минералы (опал, жемчуг)
9.	т	т	т/т	Твердые коллоидные растворы	сплавы, цветные стекла, драгоценные камни

\* г- газообразное, ж – жидкое, т – твердое состояние фазы или дисперсионной среды

Дисперсность (величина, обратная размеру частиц) является вторым отличительным признаком, по которому возможно осуществить классификацию всех дисперсных систем. Классификация дисперсных систем по размеру частиц дисперсной фазы приводится в таблице 2.

В зависимости от размеров частиц различают высокодисперсные и грубодисперсные системы. Промежуточными среди них являются среднедисперсные системы.

Классификация дисперсных систем в зависимости от размера частиц  
дисперсной фазы

Тип системы	Размеры частиц		Дисперсность $m^{-1}$	Примеры
	мкм	м		
Высокодисперсные	$10^{-3}-10^{-1}$	$10^{-9}-10^{-7}$	$10^9-10^7$	Рубиновое стекло, золь кремниевой кислоты, сок растений, космическая пыль.
Среднедисперсные	$10^{-1}-10^1$	$10^{-7}-10^{-5}$	$10^7-10^5$	Растворимый кофе, сахарная пудра, сажа, эритроциты крови.
Грубодисперсные	больше 10	больше $10^{-5}$	меньше $10^5$	Сахар, крупа, капли дождя, пены, грунт.

Свойства грубо - и высокодисперсных систем во многом отличаются, но наличие границы раздела фаз и раздробленность одной из них объединяет эти системы. Изменение свойств при переходе высокодисперсных систем в грубодисперсные происходит постепенно, через среднедисперсные системы.

С увеличением дисперсности, т.е. по мере снижения размеров частиц, интенсифицируются молекулярно-кинетические явления (броуновское движение, диффузия, осмос), возрастает удельная поверхность, ускоряются физико-химические процессы на границе раздела фаз, уменьшается скорость седиментации (оседания) частиц под действием гравитации.

Третий признак, по которому классифицируют все дисперсные системы, обусловлен видом дисперсной фазы. Дисперсную фазу могут составлять частицы, пленки, мембраны, нити или капилляры.

Различают трехмерные, двухмерные и одномерные (мембраны, пленки) дисперсные фазы (табл. 3).

Таблица 3

Классификация дисперсных систем по виду дисперсной фазы

Дисперсная фаза		Представители
вид	характеристика	
Трехмерная	Твердые частицы, капли, пузырьки	Почвы, аэрозольные частицы, порошок цемента и бетона, мука, молоко, майонез, растворимый кофе.
Двухмерная	Нити, волокна, капилляры, поры	Древесины, ткани, пористые хлеб, сухари, волосы, кожа.
Одномерная	Пленки мембраны	Жидкие пленки, тонкие пленки (мембраны).

Существует еще также классификация по характеру взаимодействия частиц между собой. По этой классификации все дисперсные системы можно разделить на два класса – свободнодисперсные (бесструктурные), в которых частицы дисперсной фазы не связаны между собой и могут перемещаться свободно (суспензии, эмульсии, золи, в т.ч. аэрозоли), и связнодисперсные (структурированные), в которых одна из фаз неперемещается свободно, поскольку структурно закреплена. К ним относятся капиллярно-пористые тела, мембраны - тонкие пленки, гели, студни, пены - жидкие сетки с воздушными ячейками, твердые растворы.

По характеру взаимодействия частиц дисперсной фазы с дисперсионной средой все коллоидные системы делятся на два класса – лиофобные и лиофильные.

Для первых характерно сильное межмолекулярное взаимодействие вещества дисперсной фазы со средой, а для вторых – слабое.

Леофильные системы термодинамически устойчивы ( $\Delta G \leq 0$ ) и характеризуются самопроизвольным диспергированием. Примерами лиофильных систем являются – критические эмульсии, высокодисперсные

золи парафина в углеводородах, водные растворы эмульсолов – углеводородов с большим содержанием мыл или мылоподобных поверхностно-активных веществ (ПАВ), полимеры в бинарных растворителях.

Системы, в которых самопроизвольного диспергирования не происходит, могут быть названы лиофобными. К лиофобным системам относятся аэрозоли, пены, большинство природных и синтетических лиозолей.

Кроме общих признаков, которые охватывают все дисперсные системы, существует ряд частных признаков, характерных для некоторых дисперсных систем. В основу частной классификации положены:

- способы получения дисперсных систем;
- структурно механические свойства;
- устойчивость дисперсных систем.

Основными методами получения коллоидных систем являются:

- 1) методы диспергирования, связанные с уменьшением размеров частиц дисперсной фазы;
- 2) методы конденсации, связанные с увеличением размеров частиц дисперсной фазы;
- 3) метод самопроизвольного диспергирования;
- 4) метод пептизации.

Под диспергированием понимают дробление и измельчение вещества дисперсной фазы. В результате этого происходит уменьшение размеров частиц, повышается их дисперсность, образуются коллоидные системы, обладающие большой межфазной поверхностью.

В зависимости от агрегатного состояния дисперсной фазы диспергирование достигается измельчением, барботажем и др. способами. Характеристика основных способов диспергирования, применяемых в промышленности, приведена в табл. 4.



Таблица 4

Способы диспергирования	Объекты	Виды дисперсных систем	Аппараты
Резание, распиливание	Твердые тела, уголь, горные породы, пищевые массы (мясо, рыба, чай, табак, овощи)	Грубодисперсные	Резательные, отбойные молотки и др.
Раскалывание, раздавливание, удар, истирание	Полимерные и строительные материалы (цемент, красители, пигменты, наполнители, керамические порошки и т.д.)	Средне- и грубодисперсные  Высоко- и среднедисперсные	Дробилки, вальцевые станки, жернова.  Мельницы, бичевые машины
Распыливание	Полимерные материалы, молоко, жидкости, топливо	Средне- и грубодисперсные	Распылительные устройства
Барботаж	Пены в качестве промежуточного и готового продукта	–	Барботажные машины

Кроме перечисленных способов диспергирование осуществляется с помощью акустических, ультразвуковых и электрических установок.

Диспергирование характеризуется степенью диспергирования. Она определяется отношением размеров исходного продукта и частиц дисперсной фазы полученной системы. Степень диспергирования можно выразить следующим образом:

$$\alpha_1 = d_H/d_K, \quad (11)$$

$$\alpha_2 = S_H/S_K, \quad (12)$$

$$\alpha_3 = V_H/V_K, \quad (13)$$

где  $d_H, d_K, S_H, S_K, V_H, V_K$  – соответственно диаметр, площадь поверхности, объем частиц до и после диспергирования.

Таким образом, степень диспергирования может быть выражена в единицах размера ( $\alpha_1$ ), площади поверхности ( $\alpha_2$ ), объема ( $\alpha_3$ ) частиц дисперсной фазы, т.е. может быть линейной, поверхностной или объемной.

В основе конденсационных методов лежат процессы возникновения новой фазы путем соединения молекул, ионов или атомов в гомогенной среде. Эти методы делятся на физические и химические.

Важнейшими физическими методами получения дисперсных систем являются конденсация из паров и замена растворителя.

**Конденсация паров.** Сущность метода заключается в том, что в газообразной системе при изменении температуры давление пара может стать выше равновесного давления пара над жидкостью или твердым телом и в газовой фазе возникает новая жидкая или твердая фаза. Система становится гетерогенной, образуются аэрозоли (туман, дым).

**Замена растворителя.** Метод основан на изменении состава среды таким образом, что химический потенциал компонента в дисперсионной среде становится выше равновесного и тенденция к переходу в равновесное состояние приводит к образованию новой фазы. Так может быть получен золь канифоли. Если насыщенный раствор канифоли в этиловом спирте влить в большой объем воды, то полученный раствор в спиртоводной среде оказывается пересыщенным. Пересыщение приводит к агрегированию частиц канифоли, система становится гетерогенной, образуется коллоидная система - золь канифоли. Таким образом, могут быть получены гидрозоль серы, фосфора, мышьяка, многих органических веществ.

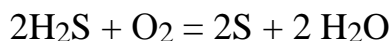
Методы химической конденсации основаны на конденсационном выделении новой фазы из пересыщенного раствора. Однако, в отличие от физических методов, вещество, образующее дисперсную фазу, появляется в результате химической реакции. Таким образом, любая химическая реакция, приводящая к образованию нерастворимого, а в случае конденсированных фаз, и летучего продукта (или, наоборот, нелетучего – при взаимодействии газов), может быть использована для получения коллоидной системы.

К образованию золь приводят различные химические реакции:

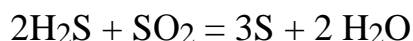
– окисления-восстановления,

- обмена,
- гидролиза и др.

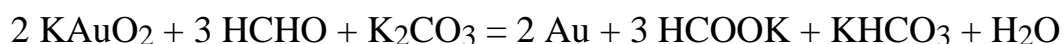
**Реакции окисления.** Примером таких процессов является образование золя при взаимодействии сероводорода, растворенного в гидротермальных водах, с кислородом:



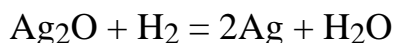
или



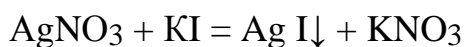
**Реакции восстановления.** Эти реакции лежат в основе многочисленных методов получения золей золота и серебра, при взаимодействии солей этих металлов с различными восстановителями: водородом, фосфором, танином, формальдегидом, ацетоном:



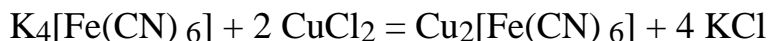
или



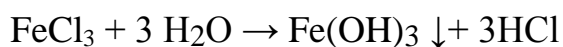
**Реакции обмена.** Этим способом получают золи галогенидов, сульфидов, оксидов и гидроксидов металлов. Характерным примером синтеза золей и использованием реакции обмена является получение гидрозолей иодида серебра. Эти золи часто служат моделями при изучении различных коллоидных процессов.



или



**Гидролиз солей.** Эти процессы широко распространены в природе и имеют важное значение в технике. Они широко применяются для очистки сточных вод. Примером служит реакция гидролиза хлорида железа (III).



или



Получающийся золь гидроксида железа придает красно-коричневую окраску природным водам и является источником ржаво-бурых зон отложений в нижних слоях почвы.

Чтобы в ходе реакции образовался коллоидный раствор, а не истинный раствор или осадок, необходимо соблюдение, как минимум, трех условий:

- 1) вещество дисперсионной фазы должно быть нерастворимо в дисперсионной среде;
- 2) скорость образования зародышей кристаллов дисперсной фазы должна быть намного выше, чем скорость роста кристаллов. Это условие выполняется в том случае, когда концентрированный раствор одного компонента вливается в сильно разбавленный раствор другого компонента при интенсивном перемешивании;
- 3) одно из исходных веществ должно быть взято в избытке, и оно является стабилизатором.

Пептизацией называют переход в коллоидное состояние осадков со сформированными частицами дисперсной фазы, образующихся, например, при коагуляции зольей. В простейшем случае пептизация может происходить в результате многократных промываний осадков, при этом из них удаляются коагулирующие ионы. Процесс пептизации может происходить под действием специальных веществ – пептизаторов (ПАВ, ВМС, многозарядные ионы). Пептизатор обволакивает частицы дисперсной фазы, адсорбируясь на поверхности. Адсорбция молекул или ионов пептизатора ведет к образованию двойного электрического слоя или сольватных оболочек вокруг коллоидных частиц, что способствует преодолению сил сцепления между частицами. Ставшие свободными частицы дисперсной фазы распределяются по всему объему дисперсионной среды, в результате чего образуется коллоидная система.

Существуют три способа перевода осадка в коллоидный раствор:

– адсорбционная пептизация: в этом случае отталкивание частиц осадка друг от друга вызывается двойным электрическим слоем (ДЭС), образующимся на поверхности частиц, при адсорбции ионов добавляемого электролита – стабилизатора;

– пептизация путем поверхностной диссоциации: она связана с образованием двойного электрического слоя методом поверхностной модификации. Пептизатор здесь способствует процессу диссоциации с поверхности, вызывая образование растворимых соединений на поверхности частиц;

– пептизация путем промывания осадка:т изменяется в том случае, когда на поверхности частиц в осадке есть двойные электрические слои, но они сжаты вследствие большой концентрации электролита. При промывании такого осадка водой концентрация электролита в нем уменьшается, двойные слои увеличивают свою толщину; силы электростатического отталкивания между частицами будут действовать на более далеких расстояниях и вызовут коллоидное растворение осадка.

Однако не всякий, полученный при коагуляции осадок, поддается пептизации. Важнейшими условиями эффективной пептизации являются:

1) к пептизации способны только свежеполученные осадки, так как увеличение продолжительности контакта частиц дисперсной фазы между собой приводит к постепенному уплотнению осадка и вытеснению жидкой фазы из его структуры;

2) необходимо добавление небольших количеств электролита - пептизатора, в ином случае может вновь наступить коагуляция;

3) пептизации способствует перемешивание и нагревание.

Свойства дисперсных систем в значительной степени определяются концентрацией и диапазоном размеров частиц дисперсной фазы. Различают численную, объемную и массовую концентрации дисперсной фазы.

Численная концентрация определяется числом частиц  $N$  дисперсной фазы в единице объема дисперсной системы  $V_{д.с}$  Она показывает число частиц в  $1 \text{ м}^3$ :

$$v_{ч} = \frac{N}{V_{д.с}}, \text{ м}^{-3}. \quad (14)$$

Массовая концентрация характеризует массу дисперсной фазы  $m_{д.ф}$  в единице объема дисперсной системы:

$$v_{м} = \frac{m_{д.ф}}{V_{д.с}} = V_1 \cdot \rho \cdot v_{ч}, \text{ кг/м}^3, \quad (15)$$

где  $V_1$  – объем одной частицы,  $\text{м}^3$ ;  $\rho$  – плотность вещества частиц дисперсной фазы,  $\text{кг/м}^3$ ;  $v_{ч}$  – численная концентрация,  $\text{м}^{-3}$ .

Объем одной частицы можно определить по формуле:

$$V_1 = \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{\pi d^3}{6}, \quad (16)$$

где  $r$  – радиус;  $d$  – диаметр частицы, м.

Объемная концентрация дисперсной фазы является безразмерной величиной, которая показывает, какая часть объема дисперсной системы  $V_{д.с}$  приходится на объем дисперсной фазы  $V_{д.ф}$ :

$$V_{об} = \frac{V_{д.ф}}{V_{д.с}} \cdot 100 \% \quad (17)$$

### Примеры решения задач

#### Задача 1.

Определите дисперсность частиц дисперсной фазы, имеющих размеры а) 7 мкм (диаметр); б) 0,2 мм (радиус); в) 3 мкм (радиус).

Решение.

Расчет дисперсности производят по формуле (1). Для решения задачи необходимо перевести единицы измерения величин в системе СИ.

а)  $7 \text{ мкм} = 7 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ , тогда дисперсность  $D_1 = \frac{1}{7 \cdot 10^{-6}} = 0,14 \cdot 10^6 \text{ м}^{-1}$ ;

б) для нахождения диаметра используют формулу:

$$d = 2 \cdot r = 0,2 \text{ мм} \cdot 4 = 0,4 \text{ мм} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ м}.$$

Тогда дисперсность равна:  $D_2 = \frac{1}{4 \cdot 10^{-4}} = 0,25 \cdot 10^4 \text{ м}^{-1}$ ;

в) Диаметр частицы равен 6 мкм или  $6 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ , тогда получим дисперсность:

$$D_3 = \frac{1}{6 \cdot 10^{-6}} = 0,17 \cdot 10^6 \text{ м}^{-1}.$$

Задача 2.

Определите удельную поверхность частиц дисперсной фазы диаметром 5 мкм, плотностью 1,1 кг/м<sup>3</sup>.

Решение.

Для вычисления удельной поверхности используется формула (9):

Размерность диаметра в СИ, т.е. 5 мкм =  $5 \cdot 10^{-6}$  м, тогда  $S_{уд} = \frac{6}{5 \cdot 10^{-6} \cdot 1,1} = 1,09 \cdot 10^6 \text{ м}^2/\text{кг} \cong 1,1 \cdot 10^6 \text{ м}^2/\text{кг}$ .

Задача 3.

Вычислите удельную поверхность частиц дисперсной фазы радиусом 0,15 мм, плотностью 15 г/см<sup>3</sup>.

Решение.

Размерность радиуса и плотности переводят в систему СИ: диаметр частицы равен  $0,15 \cdot 2 = 0,3 \text{ мм} = 0,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ .

Плотность частицы:  $15 \text{ г/см}^3 = 15 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ,

тогда  $S_{уд} = \frac{3}{0,15 \cdot 10^{-3} \cdot 15 \cdot 10^3} = 1,33 \text{ м}^2/\text{кг}$ .

Задача 4.

Определите линейную, поверхностную и объемную степени диспергирования, считая, что размер частиц ( $d$ ) до диспергирования составил 2,3 мм, а после диспергирования – 38 мкм.

Решение.

Для определения любой степени диспергирования необходимо размеры частиц до и после диспергирования привести к одинаковой размерности, поэтому либо  $d_n$  перевести в мкм, либо  $d_k$  – в мм.

Согласно уравнениям (8.11-8.13) линейная степень диспергирования  $\alpha_1$  определится:

$$\alpha_1 = \frac{d_H}{d_K} = \frac{2,3 \text{ мм}}{38 \cdot 10^{-3} \text{ мм}} = 0,06 \cdot 10^3 = 60,$$

$$\alpha: \frac{d_H}{d_K} = \frac{2,3 \text{ мм} \cdot 10^3 \text{ мкм}}{38 \text{ мкм}} = 0,06 \cdot 10^3 = 60.$$

Поверхностная степень диспергирования:

$$\alpha_2 = \frac{\pi d_H^2}{\pi d_K^2} = \frac{3,14 \cdot (2,3)^2 \text{ мм}}{3,14 \cdot (38 \cdot 10^{-3})^2 \text{ мм}} = 3663 = 3,6 \cdot 10^3$$

или

$$\alpha_2 = \frac{3,14 \cdot (2,3 \cdot 10^3)^2 \text{ мкм}}{3,14 \cdot (38)^2 \text{ мкм}} = 3663 = 3,6 \cdot 10^3.$$

Объемная степень диспергирования:

$$\alpha_3 = \frac{6\pi d_H^3}{6\pi d_K^3} = \frac{6 \cdot 3,14 \cdot (2,3 \text{ мм})^3}{6 \cdot 3,14 \cdot (38 \cdot 10^{-3} \text{ мм})^3} = 2,22 \cdot 10^5$$

или

$$\alpha_3 = \frac{6 \cdot 3,14 \cdot (2,3 \cdot 10^3)^3 \text{ мкм}}{6 \cdot 3,14 \cdot (38)^2 \text{ мкм}} = 2,22 \cdot 10^5$$



### Задача 5

Линейная степень диспергирования  $\alpha_1$  равна 70, радиус дисперсной частиц до их измельчения составляет 0,5 мм. Определите поверхностную степень диспергирования  $\alpha_2$  и радиус частиц после измельчения  $r_k$ .

Решение.

Линейная степень диспергирования  $\alpha_1 = \frac{r_H}{r_k} = 70$ , радиус до измельчения равен 0,5 мм, поэтому можно вычислить радиус после измельчения  $r_k = \frac{0,5}{70} = 0,007 \text{ мм} = 7 \text{ мкм}$ .

По величинам начального и конечного радиусов дисперсных частиц определяем поверхностную степень диспергирования:

$$\alpha_2 = \frac{3,14 \cdot (0,5)^2}{3,14 \cdot (0,007)^2} = 0,5 \cdot 10^4 = 5 \cdot 10^3.$$

### Задача 6

Поверхностная степень диспергирования  $\alpha_2 = 600$ , радиус частиц после измельчения  $r_k = 5 \text{ мкм}$ . Вычислите линейную степень диспергирования  $\alpha_1$  и диаметр частиц до диспергирования.

Решение.

Обозначим  $d_H$  через  $x$ , тогда  $\alpha_2 = \frac{d_H^2}{d_k^2} = \frac{3,14 \cdot x^2}{3,14 \cdot (10)^2} = 600$ ,  $d_k = 2 \cdot 5 =$

10 мкм, определяем  $d_H^2 = 600 \cdot d_k^2 = 600 \cdot 100 = 60000$ , отсюда  $d_H = x = \sqrt{60000} = 245 \text{ мкм}$ .

Для вычисления линейной степени диспергирования  $\alpha_1$ , находим отношение  $\alpha_1 = \frac{r_H}{r_k} = \frac{245}{5} = 49$ .

Радиус частиц до измельчения  $r_H = 3 \text{ см}$ ; диаметр после измельчения 10 мкм.

### Задача 7

Определите объем коллоидной частицы, если диаметр ее составляет 40 мкм.

Решение.

Размерность диаметра переводят в СИ:  $40 \text{ мкм} = 40 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 4 \cdot 10^{-5} \text{ м}$ , подставляя эту величину в формулу, определяют объем частицы:

$$V_1 = \frac{3,14 \cdot (4 \cdot 10^{-5})^3}{6} = 33,5 \cdot 10^{-15} \text{ м}^3 = 3,35 \cdot 10^{-14} \text{ м}^3.$$

### Задача 8.

Массовая концентрация частиц дисперсной фазы  $v_M = 7,3 \cdot 10^2 \text{ кг/м}^3$ ; радиус частицы равен 0,5 см; плотность вещества дисперсной фазы равна  $100 \text{ г/см}^3$ . Определить численную концентрацию дисперсных частиц.

Решение.

Для вычисления численной концентрации используют формулу:

$$v_{\text{ч}} = \frac{v_M}{V_1 \cdot \rho}.$$

Необходимо рассчитать объем частицы:

$$V_1 = \frac{3,14 \cdot (10^{-2})^3}{6} = 0,52 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3;$$

$$v_{\text{ч}} = \frac{v_M}{V_1 \cdot \rho} = \frac{7,3 \cdot 10^2}{0,52 \cdot 10^{-6} \cdot 100 \cdot 10^3} = 0,14 \cdot 10^5 \text{ м}^{-3},$$

где  $\rho = 100 \text{ г/см}^3 = 100 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ .

### Задача 9.

Численная концентрация дисперсных частиц  $v_{\text{ч}} = 1,5 \cdot 10^9 \text{ м}^{-3}$ ; радиус частицы  $r = 8 \text{ мкм}$ ; плотность вещества дисперсной фазы  $\rho = 1,3 \cdot 10^4 \text{ г/см}^3$ . Вычислите массовую концентрацию частиц дисперсной фазы.

Решение.

Объем дисперсной частицы рассчитывается по формуле:

$$V_1 = \frac{3,14 \cdot (1,6 \cdot 10^{-5})^3}{6} = 2,14 \cdot 10^{-15} \text{ м}^3,$$

тогда  $v_M = 2,14 \cdot 10^{-15} \cdot 1,3 \cdot 10^7 \cdot 1,5 \cdot 10^9 \text{ м}^{-3} = 41,8 \text{ кг/м}^3,$

$$\rho = 1,3 \cdot 10^4 \text{ г/см}^3 = 1,3 \cdot 10^7 \text{ кг/м}^3.$$

Задача 10.

Численная и массовые концентрации дисперсных частиц соответственно составляют  $2,3 \cdot 10^{17} \text{ м}^3$  и  $0,5 \cdot 10^5 \text{ кг/м}^3$ . Радиус частиц дисперсной фазы монодисперсной системы равен 0,3 мкм. Определите плотность вещества дисперсной фазы.

Решение.

Для вычисления плотности вещества дисперсной фазы используется формула:

$$\rho = \frac{v_M}{V_1 \cdot v_{\text{ч}}};$$

Затем вычисляется объем частицы, учитывая диаметр, равный 0,6 мкм или  $0,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ .

$$V_1 = \frac{\pi d^3}{6} = \frac{3,14(0,6 \cdot 10^{-6})^3}{6} = 0,1 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3.$$

Плотность вещества дисперсной фазы равна:

$$\rho = \frac{v_M}{V_1 \cdot v_{\text{ч}}} = \frac{0,5 \cdot 10^5}{0,1 \cdot 10^{-9} \cdot 2,3 \cdot 10^{17}} = 2,17 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3.$$