

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Факультет: Машиностроительные технологии (МТ)

Кафедра: Электронные технологии в машиностроении (МТ 11)



МГТУ
им. Н.Э. Баумана

Физико-химические основы нанотехнологий

Сидорова

Светлана

Владимировна

канд. техн. наук,

доцент кафедры МТ 11

МГТУ им. Н. Э. Баумана



Модуль 1

«Общие положения, понятия и определения»

Лекция 2

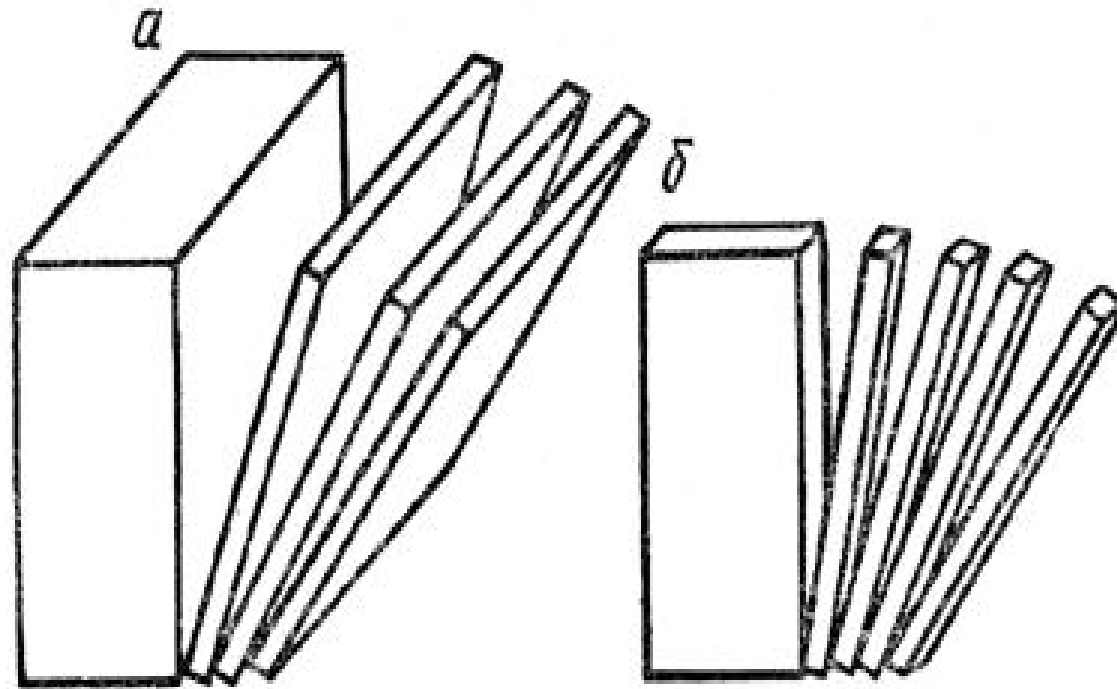
«Дисперсные системы»

Дисперсное состояние вещества



МГТУ
им. Н.Э. Баумана

Дисперсный – от лат.
dispersus –
рассеянный,
рассыпанный.



- а) пленочно-дисперсные
- б) волокнисто-дисперсные
- в) корпускулярно-дисперсные

*Жизнь – это особая
коллоидная система...
В.И. Вернадский*

Дисперсные системы



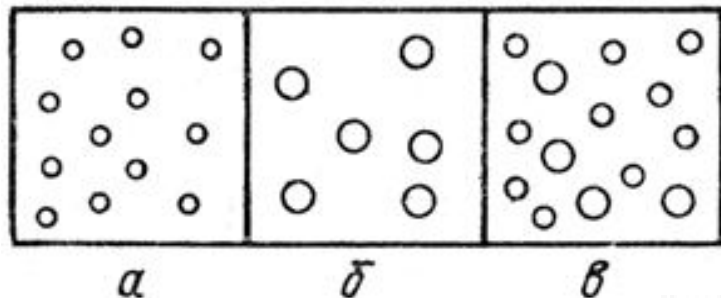
МГТУ
им. Н.Э. Баумана

Дисперсная система (ДС) – это образования из двух или большего числа фаз (тел), которые практически не смешиваются и не реагируют друг с другом химически.

Первое из веществ (*дисперсная фаза*) мелко распределено во втором (*дисперсная среда*).

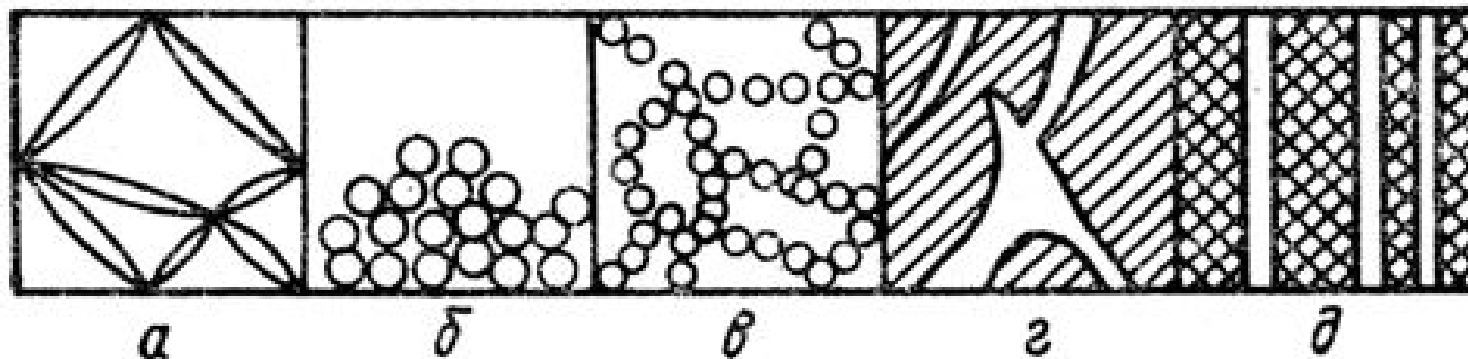
Дисперсная фаза - совокупность мелких однородных твёрдых частиц, капелек жидкости или пузырьков газа, равномерно распределённых в окружающей (дисперсионной) среде.

Дисперсионная среда - непрерывная фаза (тело), в объёме которой распределена другая (дисперсная) фаза в виде мелких твёрдых частиц, капелек жидкости или пузырьков газа.



*а-б) монодисперсные системы
в) полидисперсные системы*

*а-в) связнодисперсные системы
г-д) капиллярнодисперсные системы*



Дисперсные системы



МГТУ
им. Н.Э. Баумана

Общие параметры ДС



Дисперсность - физическая величина, характеризующая размер взвешенных частиц в ДС; величина, показывающая какое число частиц можно «уложить» вплотную в одном метре (чем меньше размер частиц, тем больше дисперсность).

$$D=1/a$$

Удельная поверхность - усредненная характеристика размеров внутренних полостей (каналов, пор) пористого тела или частиц раздробленной фазы ДС.

$$S_{уд}=S/V$$

Межфазное натяжение σ - поверхностное натяжение на границе двух жидких фаз.

Свободная поверхностная энергия - избыток свободной энергии, содержащейся в поверхностном слое на границе раздела двух соприкасающихся фаз (Ж-Г, Ж-Ж, Ж-Т) по сравнению с энергией объемной части этих фаз: $G_s=\sigma S$

Классификация дисперсных систем



МГТУ
им. Н.Э. Баумана

По размеру частиц дисперсной фазы.

Грубодисперсные системы (*взвеси*) с размером частиц более 500 нм.

Тонкодисперсные (*коллоидные растворы или коллоиды*) с размерами частиц от 1 до 500 нм.

По степени взаимодействия между дисперсионной средой и дисперсной фазой.

Если такое взаимодействие выражено очень слабо, систему называют **лиофобной** (в случае воды - *гидрофобной*).

Если же дисперсная фаза и дисперсионная среда «тяготеют» друг к другу (например, образуют водородные связи), образуется **лиофильная** (*гидрофильная*) дисперсионная система.

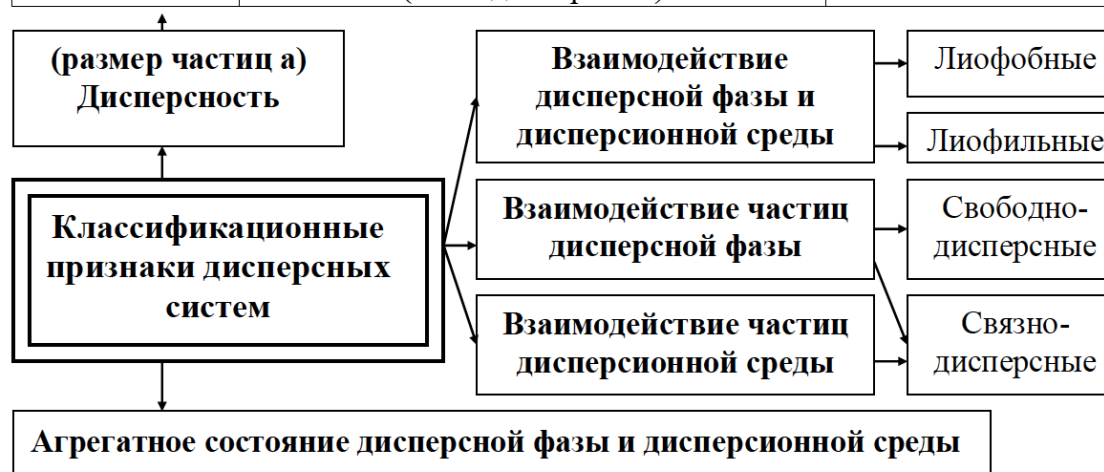
По агрегатному состоянию фаз (ак. П.А. Ребиндер).

Свободнодисперсные системы - дисперсная фаза не образует сплошных жестких структур (сеток, каркасов). Такие системы называют *золями*.

Сплошные (связнодисперсные) системы - частицы дисперсной фазы образуют жесткие пространственные структуры (сетки, каркасы). Такие системы называют *гелями*.



$a \leq 10^{-9}$ м	Гомогенные (молекулярно-ионно-дисперсные)	Истинные растворы
$a = 10^{-9}-10^{-7}$ м	Ультрамикрорегетерогенные (высокодисперсные)	Коллоидные системы
$a = 10^{-7}-10^{-5}$ м	Микрорегетерогенные (низкодисперсные)	Грубодисперсные системы



Классификация дисперсных систем

Обозначение системы (фаза/среда)	Тип системы	Пример системы	
Т/Ж	Золи, суспензии	Природные воды, золи металлов, других веществ, микробы	
Ж/Ж	Эмульсии	Молоко, нефть, смазки	
Г/Ж	Газовые эмульсии, пены	Мыльная пена, муссы	
Ж/Г	Пористые тела, гели	Адсорбенты, почвы, минералы (опал, жемчуг)	
Г/Г	Пористые и капиллярные системы, ксерогели	Пемза, силикагель, пенопласт, активные угли, почва, горные породы	
Т/Г	Твёрдые растворы внедрения	Минералы (самоцветы), сплавы (сталь, чугун), бетон	
Т/Г	Аэрозоли (пыли, дымы)	Табачный дым, угольная, мучная пыль, порошки	Смог
Ж/Г	Аэрозоли (туманы)	Туман, кучевые облака, тучи	
Г/Г	Газовые смеси	Атмосфера земли	

Основные характеристики ДС



МГТУ
им. Н.Э. Баумана

1. Средний минимальный и максимальный **размер** дисперсных частиц.
2. **Концентрация** частиц – отношение числа дисперсных частиц к единице дисперсионной среды.
3. **Удельная поверхность** дисперсной фазы – отношение суммарной площади поверхности всех дисперсных частиц к их суммарной массе.
4. **Дисперсность** – отношение суммарной площади поверхности дисперсных частиц к суммарному объёму дисперсной фазы.
5. **Поверхностное натяжение** на границе дисперсных частиц с дисперсионной средой – основной термодинамический параметр, характеризующий свойства поверхности раздела фаз.
6. **Время жизни** дисперсной системы – количественная характеристика важнейшего общего свойства дисперсных систем – их термодинамической неустойчивости. (*Термодинамическая (агрегативная) неустойчивость проявляется в постепенном увеличении размеров или образовании агрегатов из слипшихся дисперсных частиц*).

Основные характеристики ДС

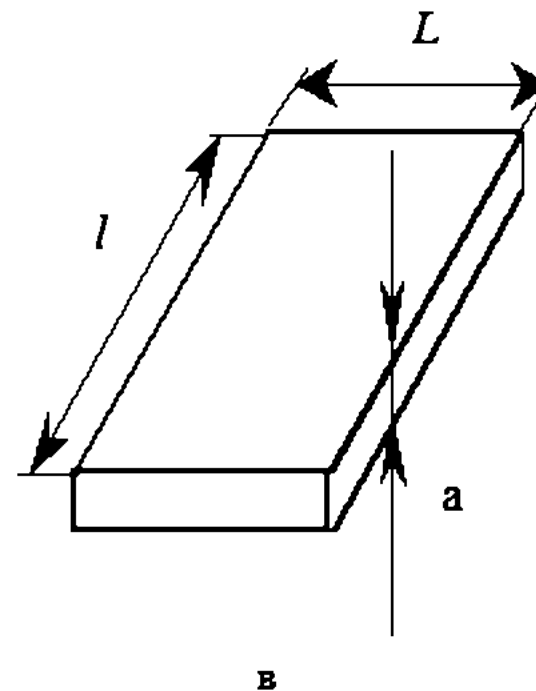
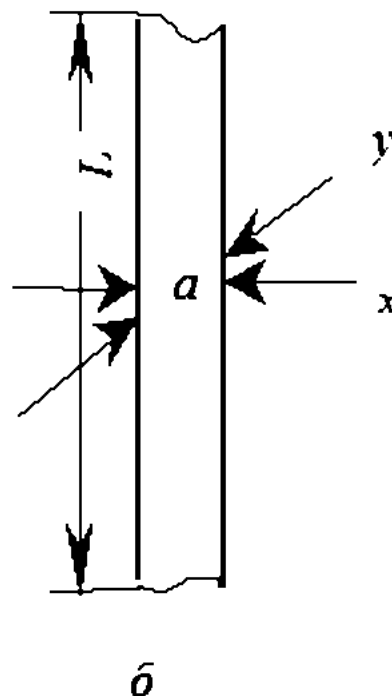
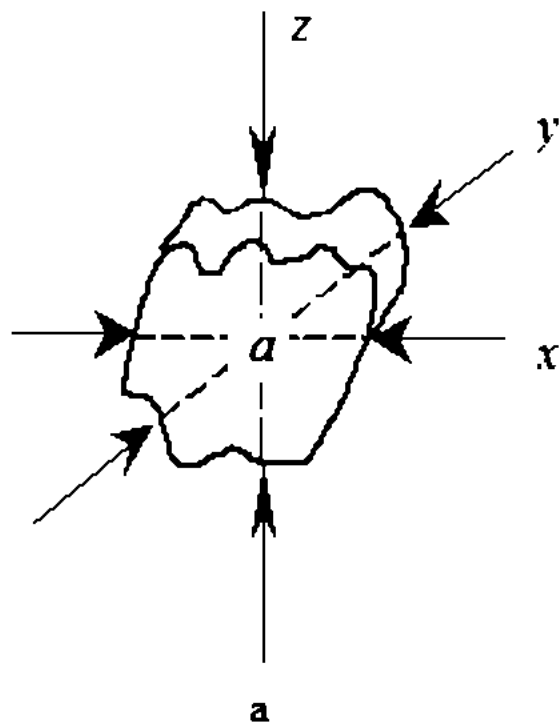


МГТУ
им. Н.Э. Баумана

Средний ($\bar{a}$) минимальный ($\bar{a}_{\min}$) и максимальный ($\bar{a}_{\max}$) **размер** дисперсных частиц.

Концентрация частиц (v , м^{-3}), равная числу дисперсных частиц (n_d) в единице объема дисперсионной среды (V):

$$v = n_d / V.$$



Трехмерная (а), двумерная (б) и одномерная (в) дисперсные фазы

Основные характеристики ДС



Дисперсность (степень раздробленности) определяется размером и геометрией частиц. Дисперсная фаза может иметь малые размеры во всех трех измерениях (*частицы*), в двух измерениях (*волокна, нити, капилляры*), в одном измерении (*пленки, пены, мембраны, адсорбционные слои*).

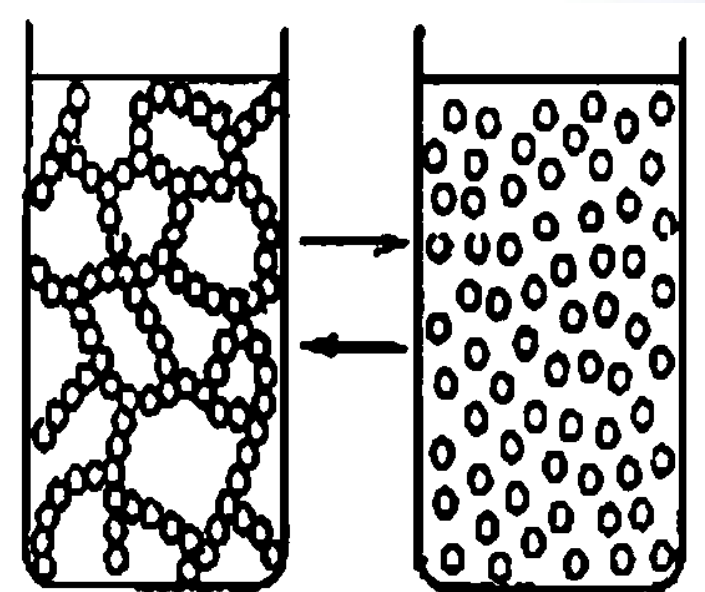
Степень раздробленности (дисперсности) оценивают:

$$D = 1/a \text{ (м}^{-1}\text{)},$$

где a – поперечный размер частицы.

В случае сферических частиц $a=d$ – диаметр.

Дисперсность сферических или кубических частиц одинакового размера (d) равна $D = 1/d$.



Основные характеристики ДС



МГТУ
им. Н.Э. Баумана

Удельная поверхность дисперсной фазы - это суммарная поверхность всех частиц S , отнесенная к их суммарному объему V :

$$S_{уд} = (S/V) \text{ (м}^{-1}\text{)}$$

или к суммарной массе m :

$$\Sigma = (S/m) \text{ (м}^2\text{/кг или м}^2\text{/г)}.$$

Для сферической частицы с радиусом r :

$$S_{уд.} = S/V \text{ [см}^{-1}\text{]}, \text{ [м}^{-1}\text{]}$$

$$S_{уд.} = 4r^2 / (r^3 4/3) = 3/r = 3/(D/2) = 6/D$$

Для кубической частицы с ребром куба d :

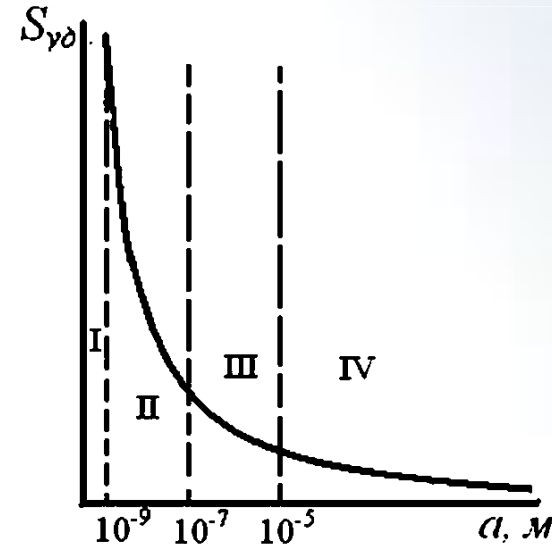
$$S_{1,2} = 6d^2, V = d^3$$

$$S_{уд.} = 6/d = 6D$$

В общем случае

$$S_{уд.} = \beta/d = \beta D,$$

где β – коэффициент формы частиц (для сферических и кубических частиц $\beta=6$).



Зависимость удельной
поверхности дисперсной
системы от размера частиц

I – молекулярные системы
(истинные растворы)

$$a < 10^{-9}$$

II – высокодисперсные,
коллоидные (наносистемы)

$$10^{-9} < a < 10^{-7}$$

III – среднедисперсные
(микрогетерогенные)

$$10^{-7} < a < 10^{-5}$$

IV – грубодисперсные

$$a > 10^{-5}$$

Основные характеристики ДС



МГТУ
им. Н.Э. Баумана

Поверхностное натяжение (σ , Дж/м²) на границе дисперсных частиц с дисперсионной средой – основной термодинамический параметр, характеризующий свойства поверхности раздела фаз.

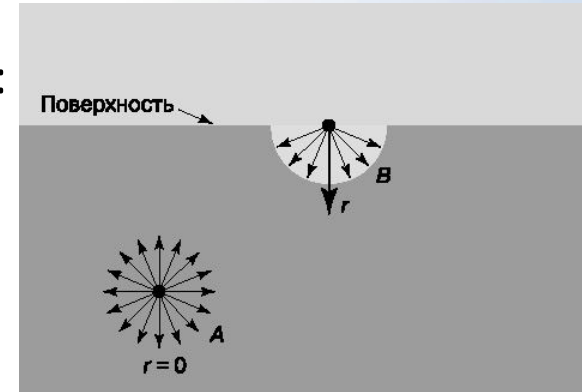
Для жидкостей поверхностное натяжение численно равно удельной свободной поверхностной энергии (которая равна работе, необходимой для создания одной единицы поверхности. Все молекулы взаимодействуют друг с другом.):

$$\sigma = (dG/ds)_{P,T}$$

где dG – изменение свободной энергии Гиббса, Дж;

ds – изменение площади поверхности частицы, м²;

P, T – соответственно давление и температура.



Время жизни ДС - количественная характеристика термодинамической неустойчивости дисперсных систем. Термодинамическая (агрегативная) неустойчивость проявляется в постепенном увеличении размеров или образовании агрегатов из слипшихся дисперсных частиц.

Для капли в эмульсиях, тонкой жидкой пленки в пенах и газового пузырька в газовых эмульсиях время жизни (τ) одной дисперсной частицы.

Для систем с твердой дисперсной фазой (коллоидных растворов) и эмульсий - период полураспада ($\tau_{1/2}$) – время, за которое начальная концентрация (v_0) частиц уменьшится в 2 раза.

Задача по теме «Дисперсные системы»



Дана дисперсная система с массой дисперсной фазы m , плотностью ρ дисперсной фазы, с частицами дисперсной фазы определенной формы и размера: r – радиус шара,

1. Рассчитайте дисперсность D системы и удельную поверхность $S_{уд}$.
2. Определите тип системы по всем классификационным признакам.
3. Рассчитайте параметры частицы дисперсной фазы: объем V_0 , поверхность S_0 , массу m_0 .
4. Рассчитайте общую поверхность всех частиц S и число частиц N в дисперсной системе.

Дано:

m толуола = 5 г

V воды = 1 л

r частиц = $2,5 \cdot 10^{-7}$ м

ρ толуола = $0,867$ г/см³

Найти:

1. Рассчитайте дисперсность D системы и удельную поверхность $S_{уд}$.
2. Определите тип системы по всем классификационным признакам.
3. Рассчитайте параметры частицы дисперсной фазы: объем V_0 , поверхность S_0 , массу m_0 .
4. Рассчитайте общую поверхность всех частиц S и число частиц N в дисперсной системе.

Задача по теме «Дисперсные системы»



Решение:

1. Определим дисперсность системы и удельную поверхность.

$D = 1/a$, где a – размер частицы толуола (диаметр шара)

Для шарообразной формы частицы толуола $a = 2r$:

$$D = 1/(2 \cdot 2,5 \cdot 10^{-7}) = 2 \cdot 10^6 \text{ м}^{-1} = 2 \text{ мкм}^{-1}$$

$S_{уд.} = S/V = 6D$ (для частиц шарообразной формы), где S – поверхность частиц, V – объем частиц:

$$S_{уд.} = 6,2 \cdot 10^6 = 1,2 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}.$$

2. Определим тип системы по четырем классификационным признакам.

2.1. По **дисперсности** система – грубодисперсная, так как размер частиц попадает в интервал

$$10^{-7} < 2,5 \cdot 10^{-7} < 10^{-5} \text{ м}.$$

2.2. По **агрегатному состоянию** дисперсной фазы (ДФ) и дисперсионной среды (ДСр) система – эмульсия, так как фаза и среда являются жидкостями.

2.3. По **наличию/отсутствию взаимодействия** между частицами ДФ и частицами ДСр – свободно-дисперсная.

2.4. По **степени взаимодействия** ДФ и ДСр – лиофобная, так как практически отсутствует взаимодействие между толуолом и водой.

Задача по теме «Дисперсные системы»



Решение:

3. Рассчитаем параметры шарообразной формы частицы толуола:

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

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

$$m_0 = \rho V_0 = 0,867 \cdot 10^{-3} \cdot 6,54 \cdot 10^{-20} = 5,67 \cdot 10^{-17} .$$

4. Рассчитаем общую поверхность частиц и число частиц в дисперсной системе.

4.1. Первый способ

$$S = S_{уд.} \cdot V, \text{ где } V \text{ – объем всех частиц. } V = m / \rho = 5 / 0,867 = 5,767 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$$

$$S = 1,2 \cdot 10^{-7} \cdot 5,767 \cdot 10^{-6} = 69,2 \text{ м}^2$$

$$N = V / V_0 = (5,767 \cdot 10^{-6}) / (6,54 \cdot 10^{-20}) = 8,82 \cdot 10^{13} \text{ шт.}$$

4.2. Второй способ

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

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