

Лекция № 3



Молекулярно-кинетические свойства коллоидных растворов: броуновское движение, осмотическое давление, седиментационное равновесие

МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ

Молекулярно-кинетические свойства обусловлены непрерывным хаотическим движением молекул и атомов. Они характерны в отношении дисперсных систем с жидкой и газовой дисперсионными средами.

Классификация и отличительные признаки молекулярно-кинетических и связанных с ними явлений

Диффузия	Броуновское движение	Вязкость	Седиментация	Осмоз
<i>Определение</i>				
Самопроизвольное выравнивание концентрации вещества в исходно неоднородной системе	Непрерывное беспорядочное движение частиц дисперсной фазы	Внутреннее трение, между слоями среды, движущимися ламинарно с разными скоростями	Осаждение частиц дисперсной фазы в жидкой или газообразной среде	Транспорт (диффузия) молекул растворителя через мембрану

Классификация и отличительные признаки молекулярно-кинетических и связанных с ними явлений

Диффузия	Броуновское движение	Вязкость	Седиментация	Осмоз
<i>Причины, вызывающие явление</i>				
Градиент химического потенциала и тепловое движение молекул	Соударения молекул среды и частиц дисперсной фазы	Тепловое движение молекул и межмолекулярное притяжение	Гравитация или центробежные силы на фоне теплового движения	Градиент химического потенциала по обе стороны мембраны и тепловое движение
<i>Дисперсная система, в которой наблюдается явление</i>				
Высокодисперсные системы. Ослаблена у микрогетерогенных систем	Коллоидные и микрогетерогенные системы	Свободнодисперсная система с жидкой или газообразной средой	Грубодисперсные системы. Ослаблена у микрогетерогенных систем	Высокодисперсные системы. Ослаблена у микрогетерогенных систем

Классификация и отличительные признаки молекулярно-кинетических и связанных с ними явлений

Диффузия	Броуновское движение	Вязкость	Седиментация	Осмоз
<i>Принципиальные экспериментальные особенности</i>				
Визуально наблюдается фронт диффундирующего вещества	Наблюдается с помощью микроскопа	Проявляется в ламинарных потоках жидкости или газа	Образуются осадки и осветленная жидкость	Наличие разделительной осмотической мембраны
<i>Специфичные характеристики, обозначение, единицы измерения</i>				
Коэффициент диффузии $D_{в}, \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ или $\text{см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$	Средний сдвиг $\bar{\Delta x}$ или $\bar{\Delta}$, мкм	Коэффициент вязкости η , $\text{Па} \cdot \text{с} = \text{Н} \cdot \text{с} \cdot \text{м}^{-2}$	Константа седиментации $S_{\text{сед}}, \text{Сб}^*$	Осмотическое давление π , Па

Сб – сведберг¹; 1 Сб = 10⁻¹³ с.

Сравнительная характеристика молекулярно-кинетических свойств истинных и коллоидных растворов

Параметр	Истинные растворы	Коллоидные растворы
Размеры частиц	Очень маленькие	Крупные
Численная концентрация частиц	Высокая	Более низкая
Осмотическое давление	Высокое, постоянно	Низкое, непостоянно вследствие агрегации и дезагрегации частиц
Диффузия	Быстрая	Медленная

По молекулярно-кинетическим свойствам дисперсные системы качественно не отличаются от истинных растворов и обнаруживают лишь количественные различия

Применимость молекулярно-кинетической теории (МКТ) к дисперсным системам

Условия применимости МКТ к дисперсным системам

- 1) частицы быть достаточно малыми, чтобы принимать участие в тепловом движении, включая броуновское ($< 6 \cdot 10^{-6}$ м)
- 2) в единице объема должно содержаться достаточно большое число частиц, чтобы можно было использовать законы статистики.

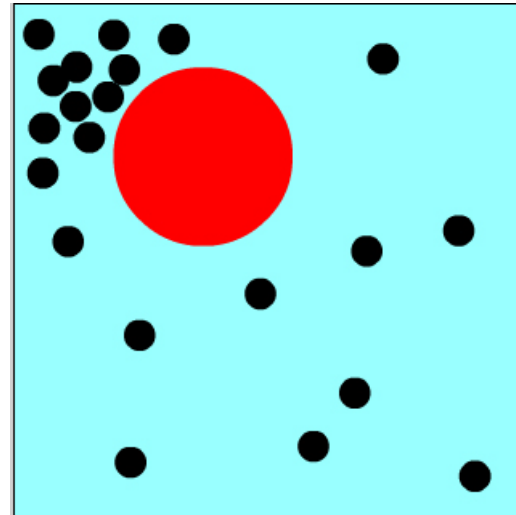
МКТ рассматривает коллоидные растворы как частный случай истинных растворов, что позволяет вполне удовлетворительно объяснить явления осмоса, диффузии, седиментации.

Броуновское движение



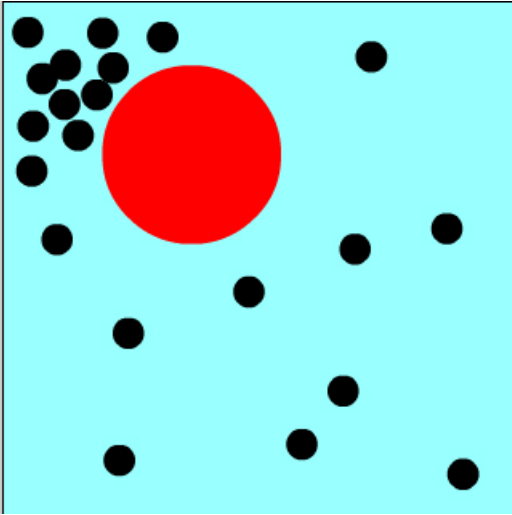
Роберт Броун — британский ботаник, 21 декабря 1773 г. - 10 июня 1858 г.

В 1827 г. английский ботаник Роберт Броун, рассматривая под микроскопом взвешенные в воде частицы цветочной пыльцы, обнаружил, что самые маленькие из них находятся в состоянии непрерывного и беспорядочного движения.



Первые объяснения были даны только в конце XIX в. учеными Гуи (1888) и Экспером (1900), которые связали это явление с тепловым движением частиц. Броуновское движение пыльцы позже было разъяснено Альбертом Эйнштейном в его работе, объяснив, что пыльца перемещалась молекулами воды.

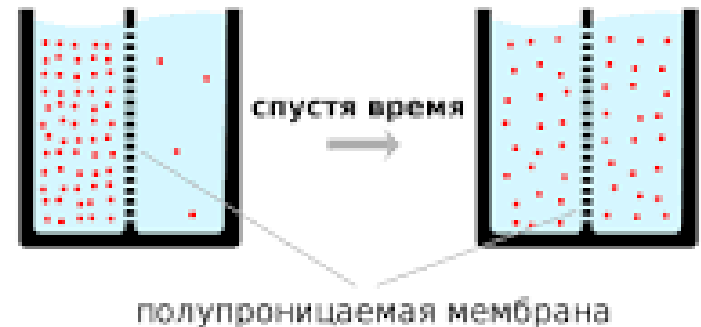
Броуновское движение



Броуновское движение в химии - беспорядочное или неконтролируемое движение частиц в жидкости из-за их постоянного столкновения с другими быстро движущимися молекулами.

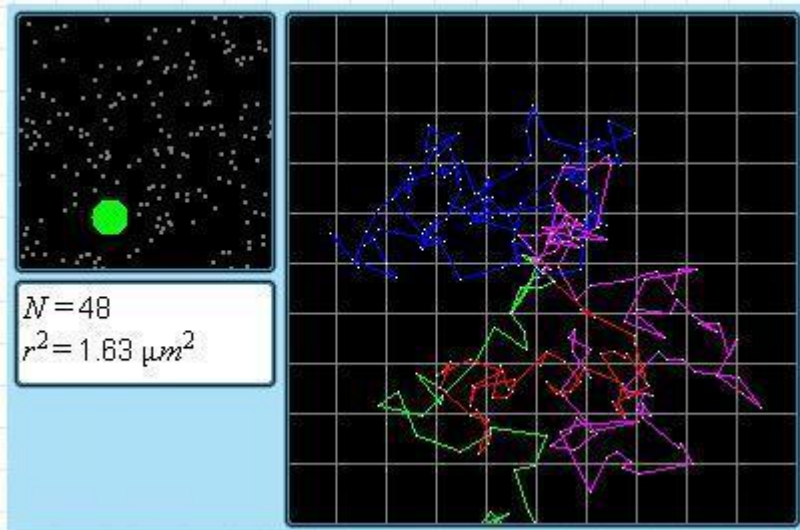
Наиболее распространенным примером броуновского движения является **диффузия**

Диффузия — неравновесный процесс перемещения вещества из области с высокой концентрацией в область с низкой концентрацией, приводящий к самопроизвольному выравниванию концентраций по всему занимаемому объёму.



Броуновское движение

В ультрамикроскоп можно увидеть только суммарные пути за определенный промежуток времени. Наименьшее наблюдаемое человеком время 0,1 с, что составляет 10 млн элементарных движений, следовательно, возможность наблюдения элементарного пути исключается. Поэтому рассматривают средний сдвиг частицы $\bar{\Delta}$



$$\bar{\Delta} = \sqrt{\frac{X_1^2 + X_2^2 + \dots + X_n^2}{n}}$$

где X_i – элементарное смещение частицы по оси x

Статистическая теория броуновского движения (А. Эйнштейн и М. Смолуховский, 1905–1908 гг.)

Постулат теории:

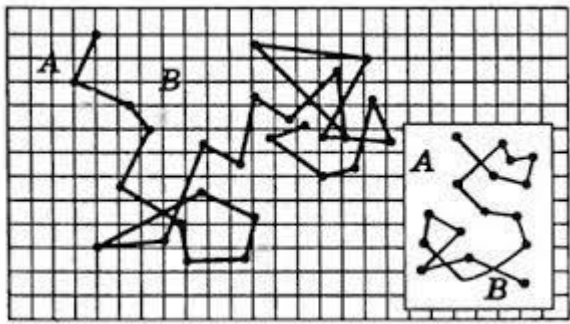
- броуновское движение совершенно хаотично, т. е. в нем наблюдается полная равноправность всех направлений.
- движение тем интенсивнее, чем выше температура и чем меньше масса частицы и вязкость дисперсионной среды.

Количественная характеристика броуновского движения частиц дисперсной фазы - средний сдвиг частицы за время τ , т. е. сдвиг — это изменение координаты частицы за определенный отрезок времени.

В основе теории заложены **следующие предпосылки:**

- кинетическая энергия частицы, взвешенной в жидкости или газе, соответствует средней кинетической энергии молекул;
- экспериментатор может не считаться с фактически пройденным частицей путем или с фактической скоростью частицы, он может ограничиться средним смещением частицы за определенное время.

Статистическая теория броуновского движения (А. Эйнштейн и М. Смолуховский, 1905–1908 гг.)



$$\bar{\Delta}^2 = 2 D \cdot t$$

где D – коэффициент диффузии ($\text{м}^2/\text{с}$); t – время, (с)

$$D = \frac{RT}{N_A \cdot B} \quad B \text{ – коэффициент трения}$$

Для сферических частиц $B = 6 \pi \cdot \eta \cdot r$

$$D = \frac{kT}{6\pi\eta r} \quad D = \frac{kT}{6\pi\eta r} = \frac{RT}{6\pi r N_A}$$

η – вязкость среды ($\text{Н}\cdot\text{с}/\text{м}^2$); r – радиус диффундирующей частицы (м); R – универсальная газовая постоянная, $R=8.314$ ($\text{кДж}/\text{моль}\cdot\text{К}$); T – температура (К); N_A – число Авогадро, $6.025 \cdot 10^{23}$ моль^{-1}

Задача

В аудиторию входит студентка. Оцените время, через которое запах ее духов достигнет экзаменатора, сидящего за столом.

Коэффициент диффузии молекул в газах равен $2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$, расстояние $l(t)$ до экзаменатора 4 м , а ширина начального распределения примерно равна диаметру головы студентки $l(0) = 0.2 \text{ м}$.



Решение

Воспользуемся уравнением

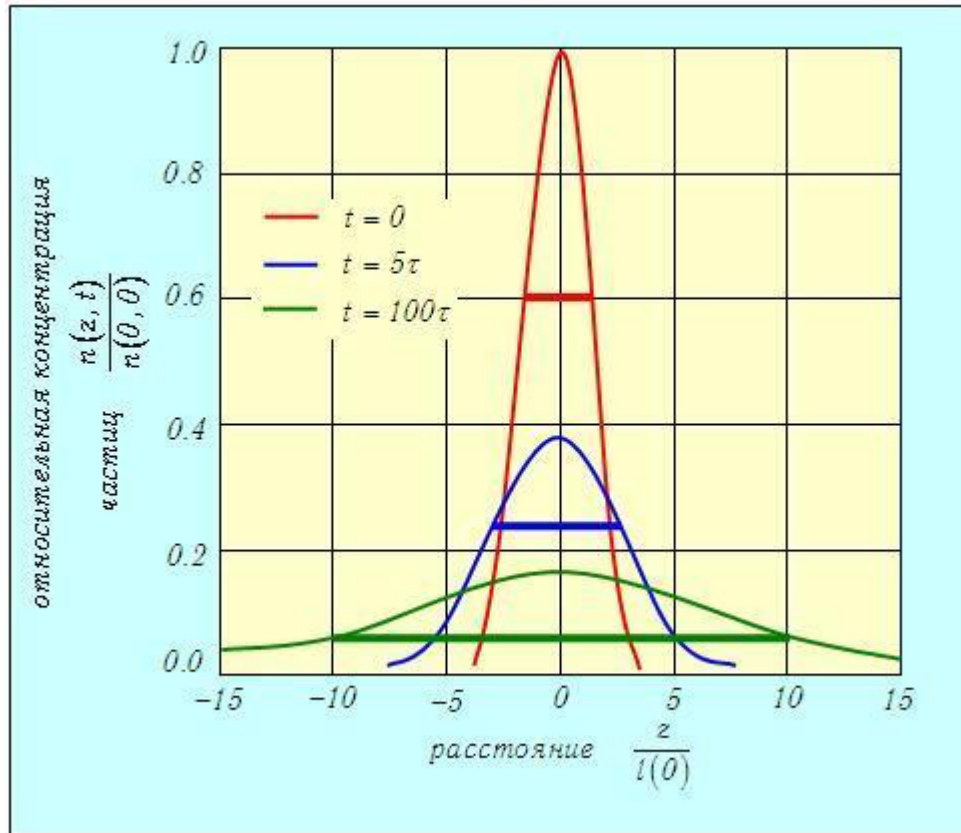
$$\bar{\Delta}^2 = 2 D \cdot t$$

тогда

$$t = \frac{\bar{\Delta}^2}{2D} = 4 \cdot 10^5 \text{ с} \approx 4.6 \text{ сут}$$

Ответ явно несуразен и противоречит всему мировому опыту приема экзаменов. Из этого примера ясно, что распространение запахов по комнате происходит не вследствие диффузии, а из-за более быстрых процессов.

Гауссова распределения концентрации частиц с течением времени



Три кривые соответствуют трем различным значениям времени, измеренного в единицах $t = l^2(0)/(2D)$; по оси абсцисс отложены «безразмерные» расстояния, измеренные в единицах полуширины $l(0)$ начального распределения; по оси ординат показано отношение концентрации частиц $n(z, t)$ к ее максимальному значению $n(0, 0)$ в начальный момент времени $t = 0$; горизонтальные отрезки показывают среднеквадратичную ширину $2l(t)/l(0)$ каждого из распределений

ДИФФУЗИЯ

Диффузия – самопроизвольно протекающий процесс выравнивания концентраций молекул, ионов или коллоидных частиц во всем объеме системы под влиянием их теплового хаотического движения.

Характеристика диффузии

1. Макроскопическое проявление теплового движения молекул
2. Зависит от температуры
3. Необратимый процесс
4. Диффузия заканчивается наступлением равновесия

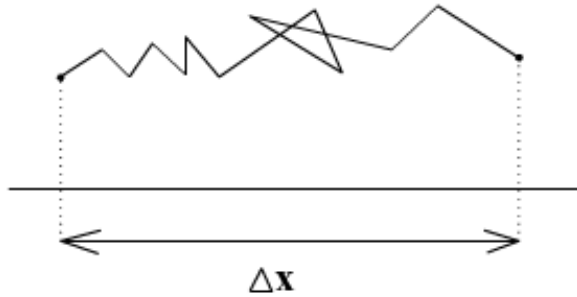
Факторы, влияющие на скорость диффузии

- 1) природа дисперсионной среды
- 2) размер и форма частиц дисперсной фазы;
- 2) температура;
- 3) разница концентраций в разных частях системы.

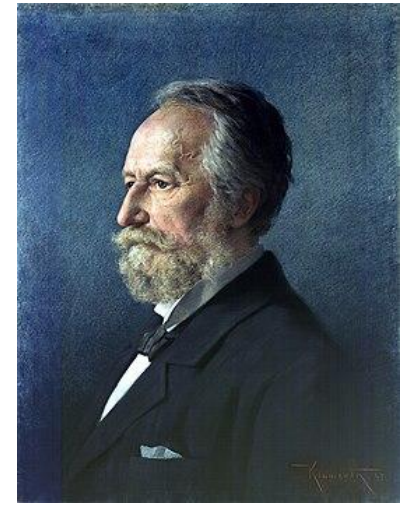
Таблица сравнения скорости диффузии

Температура	При повышении температуры скорость диффузии увеличивается
Концентрация	При увеличении разности концентраций скорость диффузии увеличивается
Площадь поверхности	При увеличении площади поверхности скорость диффузии увеличивается
Масса частиц	Масса частиц влияет на скорость диффузии: частицы с большей массой диффундируют медленнее
Размер частиц	Меньшие частицы диффундируют быстрее, чем большие частицы

Первый закон диффузии (Фик, 1855 г.)



$$J = dm = -D \nabla C = DS \left(-\frac{dc}{dx} \right) d\tau$$



Адольф Ойген Фик
([3 сентября 1829](#) — [21 августа 1901](#) —

немецкий [физик](#) и [физиолог](#))

Плотность диффузионного потока вещества пропорционально градиенту изменения концентрации с коэффициентом пропорциональности D - коэфф. диффузии и направлено в другую от него сторону.

где m – масса продифундировавшего вещества, г;

D – коэффициент диффузии (зависит от свойств диффундирующих частиц и среды), $\text{м}^2/\text{с}$;

– градиент концентрации; $\frac{dC}{dx}$

S – площадь, через которую идет диффузия;

$d\tau$ – время. с

Первый закон диффузии (для стационарных процессов)

коэффициент диффузии численно равен числу молекул диффундирующего вещества при условии, что градиент концентрации, время диффузии, а также величина площадь поверхности s равны единице.

А. Эйнштейн предложил для определения коэффициентов диффузии частиц произвольной формы использовать равенство, т.к. градиент концентрации меняется

$$D = kTB$$

где k – константа Больцмана ($1.38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К); T – абсолютная температура; B – коэффициент трения частицы при ее движении в сплошной среде.

Для сферических частиц
уравнение Стокса

$$B = 1/(6\pi \cdot r \cdot \eta)$$

где r – радиус диффундирующей частицы; η – динамическая вязкость среды.

Уравнение Стокса– Эйнштейна

$$D = kT/(6\pi \cdot \eta \cdot r)$$

Второй закон Фика (для нестационарных процессов)

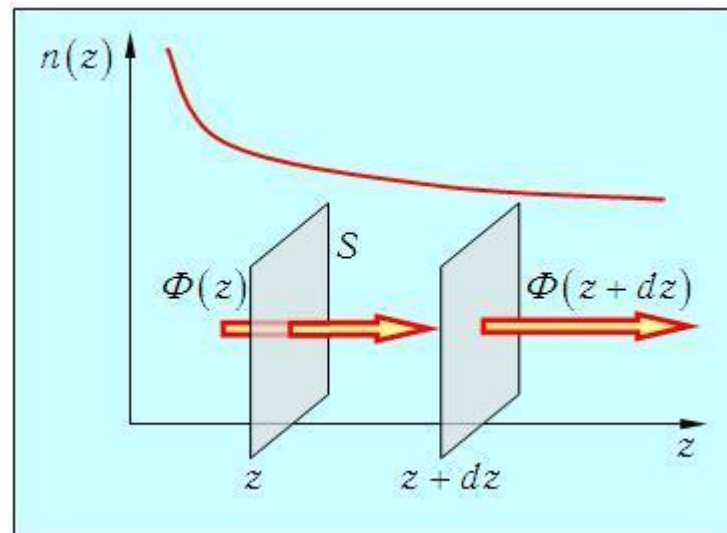
Скорость изменения плотности диффузионного потока пропорциональна скорости изменения градиента концентрации с тем же коэффициентом D и так же направлена в другую сторону.

$$\partial C / \partial t = D * \nabla^2 C$$

где:

$\partial C / \partial t$ – изменение концентрации вещества по времени

$\nabla^2 C$ – вторая производная концентрации вещества по координате



Задача

Оцените коэффициент диффузии некоторого вещества в ацетоне, этиленгликоле и глицерине, зная коэффициенты диффузии и вязкость этого вещества в пиридине, Предполагается, что молекулы диффундирующего вещества не взаимодействуют с растворителем.

Решение

уравнение Стокса–Эйнштейна

$$D = kT / (6\pi \cdot \eta \cdot r)$$

$$r = kT / 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot D$$

$$D_1 / D_2 = \eta_2 / \eta_1$$

	Коэффициент диффузии D (20°C), $\text{см}^2/\text{с}$	Вязкость η , сП
пиридин	$1 \cdot 10^{-5}$	0,95
ацетон	?	0,33
глицерин	?	1500
этиленгликоль	?	16,9

$$D_{\text{ац}} = 2,9 \cdot 10^{-5} \text{ см}^2/\text{с}; D_{\text{эт}} = 5,6 \cdot 10^{-7} \text{ см}^2/\text{с}; D_{\text{гл}} = 6,3 \cdot 10^{-9} \text{ см}^2/\text{с}.$$

ВЯЗКОСТЬ СВОБОДНОДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ

Вязкость – внутреннее трение, возникающее между слоями подвижной среды (жидкой или газообразной), движущимися ламинарно с разными скоростями.

Причиной возникновения вязкости является, с одной стороны, хаотическое молекулярно-кинетическое движение, а с другой – силы притяжения между молекулами, расположенными на поверхности движущихся слоев.

уравнение Ньютона

$$F = \eta \cdot S \frac{du}{dx}$$

где F – внутреннее трение; η – коэффициент вязкости; S – площадь соприкосновения слоев; du/dx – градиент скорости, направленный перпендикулярно вектору скорости.

Характеристики среды, производные от коэффициента вязкости

Тип вязкости	Обозначение, единицы измерения	Формула-определение	Примечание
Динамическая	η , $\text{Па} \cdot \text{с} = \text{Н} \cdot \text{с} \cdot \text{м}^{-2}$	$F = \eta s \frac{du}{dx}$	Коэффициент вязкости
Кинематическая	ν , $\text{Ст} = \text{см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$	$\nu = \eta / \rho$,	Ст – стокс; ρ – плотность
Относительная	$\eta_{\text{отн}}$ (безразмерная)	$\eta_{\text{отн}} = \eta / \eta_0$	η_0 – вязкость эталона
Удельная	$\eta_{\text{уд}}$	$\eta_{\text{уд}} = \eta_{\text{отн}} - 1 =$ $= (\eta - \eta_0) / \eta_0$	
Характеристическая	$[\eta]$	$[\eta] = \lim \frac{\eta_{\text{уд}}}{c}$	Если $c \rightarrow 0$
Текучесть	φ , $\text{Па}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$	$\varphi = 1/\eta$	

Примеры сред с известной вязкостью

Тип вязкости	Среда	Пример		Уравнение
		Вещество	η , сП	
Ньютонов- ская	Низкомоле- кулярная жидкость	Вода	1,003	Ньютона: $F = \eta s \frac{du}{dx}$ (3.9)
		Этанол	1,2	
Неньютонов- ская	Газ	Азот	0,0175	—
		Кислород	0,02	
Аномальная, если между частицами дисперсной фазы возни- кают связи	Растворы ВМС, свободно- дисперсные системы	Мыла	$10 \dots 10^{14}$	Марка: $[\eta] = KM^\alpha$; $0,5 < \alpha < 1$ Эйнштейна: $\eta = \eta_0(1 + k\varphi)$ Бингама: $P = \theta + \eta(du / dx)$
		Эмульсии	$1 \dots 10^7$	
		Масла	$10 \dots 10^{14}$	
		Сиропы	10^6	

Вязкость простых веществ

уравнение Ньютона и Пуазейля.



выражает течение жидкости по капилляру вискозиметра при ламинарном режиме:

$$\eta = 4 \cdot \pi \cdot r^4 \cdot p / (8 u \cdot l)$$

r и l – радиус и длина капилляра, в котором наблюдается течение жидкости; u – скорость истечения жидкости; p – давление (разница давлений) на концах трубки.

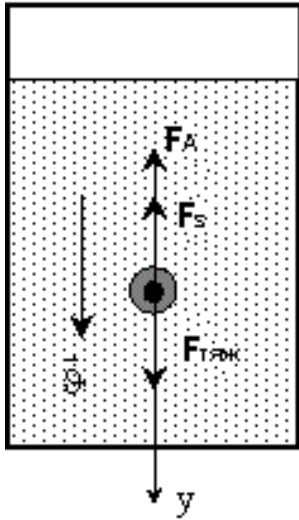
При невысоких температурах вязкость можно определить по данным для поверхностного натяжения:

$$\eta = \frac{RT}{6 \pi \cdot D \cdot N_A \cdot r} = \frac{\sigma}{6 \pi \cdot D \cdot N_A}$$

где D – коэффициент диффузии; N_A – число Авогадро; r – радиус частицы.

СЕДИМЕНТАЦИЯ

Факторы, определяющие движение частицы дисперсной фазы



1. **Сила тяжести F_g** (гравитации, сила направлена вниз).

$$F_g = mg = V_{ч} \cdot g \cdot \rho$$

где $V_{ч}$ – объем частицы; g – ускорение свободного падения; ρ – плотность вещества дисперсной фазы.

2. **Силы Архимеда F_A** (сила направлены вверх):

$$F_A = V_{ч} \cdot g \cdot \rho_0$$

где ρ_0 – плотность вещества дисперсионной среды

3. **Сила трения**, возникающая при перемещении частицы в вязкой диффузионной среде.

В случае сферических частиц

$$F_{тр} = 6 \pi \cdot \eta \cdot r \cdot u$$

где u – скорость оседания частиц дисперсной фазы.

Факторы, определяющие движение частицы дисперсной фазы

4. Силы, вызывающие броуновское движение частиц и способствующие их равномерному распределению по всему объему дисперсной системы. Аналитического выражения для описания этих сил не существует.

В зависимости от преобладания сил гравитации или сил Архимеда частица будет стремиться всплыть или седиментировать. Суммарное действие этих сил описывается следующим уравнением:

$$F_{\Sigma} = V_{\text{ч}} \cdot g (\rho - \rho_0).$$

Для сферических частиц

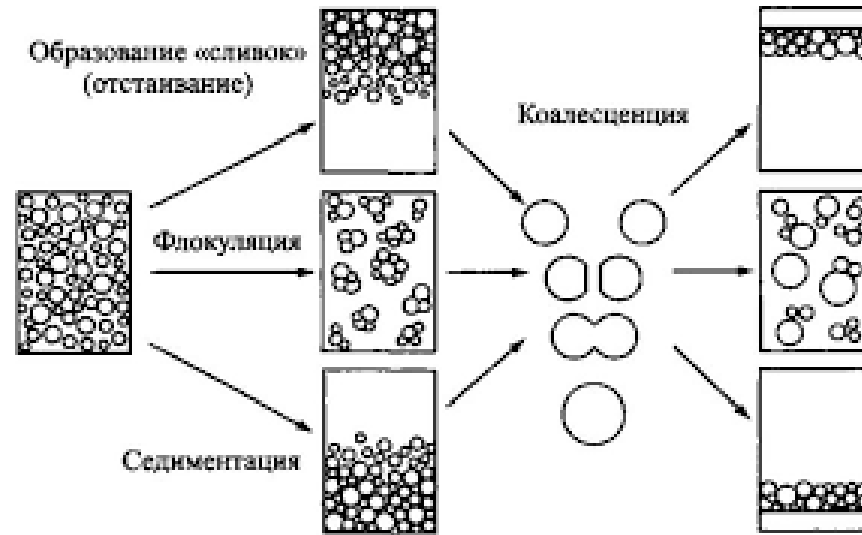
$$F_{\Sigma} = \frac{4}{3} \pi \cdot r^3 \cdot g(\rho - \rho_0)$$

Если $F_{\Sigma} = F_{\text{тр}}$ тогда
скорость седиментации

$$u = \frac{2 r^2}{9 \eta} (\rho - \rho_0) g$$

$$F_{\text{тр}} = 6 \pi \cdot \eta \cdot r \cdot u$$

Влияние плотности дисперсной фазы и дисперсионной среды на седиментацию



	Изменения в системе	Пример
$\rho > \rho_0$	осаждение дисперсной фазы	Водная суспензия CaCO_3
$\rho < \rho_0$	дисперсная фаза всплывает	Водно-масляные эмульсии

СЕДИМЕНТАЦИЯ

Способность к седиментации часто выражают через **константу седиментации**, величина которой определяется как отношение скорости оседания к ускорению свободного падения g :

$$S_{\text{сед}} = U/g$$

Величина, обратная константе седиментации, является мерой кинетической устойчивости дисперсной системы:

Для сферических частиц

$$S_{\text{сед}} = 2r^2(\rho - \rho_0) \cdot g \cdot \eta$$

Единицей *константы седиментации* является сведберг (1 Сб = 10^{-13} с) или просто секунда.

Константа седиментации

Константа седиментации, как и скорость оседания, **зависит** от

- размеров частиц
- плотности частиц
- плотности среды
- температуры.

$$S_{\text{сед}} = 2r^2(\rho - \rho_0) \cdot 9 \cdot \eta$$

Стандартное значение константы седиментации

принято приводить к стандартному растворителю, имеющему вязкость и плотность воды при 20 °С

$$S_{\text{сед}}(20, B) = S_{\text{сед}}(\text{эксп}) \cdot \frac{1 - \bar{V} \cdot \rho(20, B)}{1 - \bar{V} \cdot \rho(T)} \cdot \frac{\eta(T)}{\eta(20)} \cdot \frac{\eta}{\eta_0}$$

где $S_{\text{сед}}(20, B)$ – стандартное значение константы седиментации; – удельный парциальный объем \bar{V} ; $\rho(20, B)$ и $\rho(T)$ – плотности воды при 20 °С и растворителя, соответственно; η / η_0 – отношение вязкостей растворителя и воды; $\eta(T) / \eta(20)$ – отношение вязкости воды при температуре T к ее вязкости при 20 °С

Связь между стандартным значением константы седиментации и молекулярной массой ВМС

Для данных центрифугирования оно имеет вид

$$\overline{M} = \frac{RT}{D} S_{\text{сед}}(20, \text{В})$$

где M – усредненная молярная масса; D – коэффициент диффузии.

Уравнение Стокса–Эйнштейна

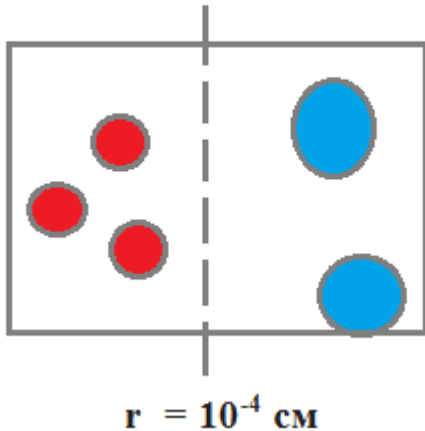
$$D = kT / (6\pi \cdot \eta \cdot r)$$

седиментация и диффузия зависят от действия одних и тех же факторов.

Устойчивость системы к оседанию

При седиментационном равновесии действие гравитационных сил полностью компенсируется силами диффузии

$$\rho - \rho_0 = 1, \eta = 10^{-2} \text{ П, } u = 1 \text{ см/ч}$$



Устойчивость системы к оседанию называют кинетической, или седиментационной. Мерой устойчивости служит гипсометрическая высота. Гипсометрическая высота – это такая высота от некоторого уровня, при подъеме на которую концентрация коллоидных частиц уменьшается в два раза. Для монодисперсных систем

Уравнение Лапласа-Пиррена

$$\ln \frac{v_h}{v_0} = \frac{V_{\text{ч}} \cdot g \cdot (\rho - \rho_0) \cdot h}{kT}$$

Для монодисперсных систем

где h – гипсометрическая высота; v_0 и v_h – частичные концентрации дисперсной фазы на исходном уровне и на высоте h , соответственно; $V_{\text{ч}}$ – объем отдельной коллоидной частицы.

Гипсометрическая высота

высота, на уровне которой концентрация дисперсной фазы меняется в e раз

$$h_e = \frac{kT}{V_{\text{ч}} \cdot g \cdot (\rho - \rho_0)}$$

Седиментация в центробежном поле. Определение массы частиц методом скоростного ультрацентрифугирования

$$s_c = \frac{dx}{dt} \frac{1}{\omega^2 x} \quad \omega - \text{угловая скорость вращения}$$

Уравнение Сведберга позволяет определить радиус частицы при центрифугировании

$$r = \sqrt{\frac{9\eta \ln\left(\frac{x}{x_0}\right)}{2(\rho - \rho_0)\omega^2 \tau}}$$

$$r = \sqrt{\frac{9\eta \ln \sqrt{\frac{c_0}{c_1}}}{2(\rho - \rho_0) \cdot \omega^2 \cdot \tau}}$$

где n – число оборотов центрифуги; U – линейная скорость; R – радиус траектории центрифуги; x_0 и x – начальное расстояние частицы от центра вращения и конечное соответственно, c_0 , c_1 – концентрация золя в процентах ко времени τ_0 и τ .

Экспериментальные методы определения размеров частиц в зависимости от диапазона измеряемых частиц

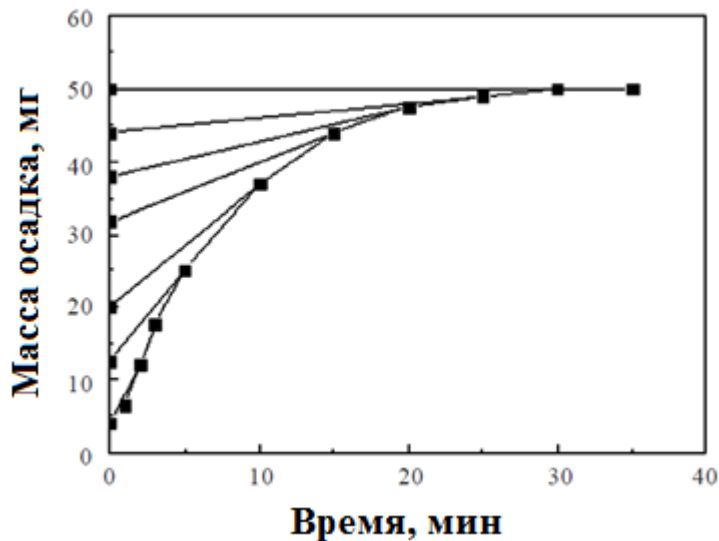
Название метода дисперсионного анализа	Диапазон измеряемых частиц	Примечания
Ситовой анализ	> 50 мкм	
Мокрый ситовой анализ	> 5 мкм	
Седиментационный анализ в гравитационном поле	1–100 мкм	
Седиментационный анализ в центробежном поле	0,1–10 мкм 5–100 нм	до 10^3 об./мин. > 10^5 об./мин.
Оптическая микроскопия	1–100 мкм	
Электронная просвечивающая микроскопия	5 нм – 5 мкм	
Электронная сканирующая микроскопия	5 нм – 5 мкм	
Методы светорассеяния	5–100 нм	
Кондуктометрия	0,2–800 мкм	применяется Счетчик Коултера

Задача

Рассчитать и построить интегральную и дифференциальную кривые распределения частиц в водной среде. Высота осаждения $H = 0,12$ м, вязкость среды 10^{-3} Па·с, плотность частиц дисперсной фазы $\rho = 2,7 \cdot 10^3$ кг/м³, плотность среды $\rho_0 = 10^3$ кг/м³.

τ , МИН	1	2	3	5	10	15	20	25	30	35
m , МГ	6,5	12,0	17,5	25,0	37,0	44,0	47,5	49,0	50,0	50,0

Для решения задачи строим седиментационную кривую $m = f(\tau)$



Обрабатываем седиментационную кривую методом касательных. Определяем по графику массы фракций, считаем радиус частиц по уравнению

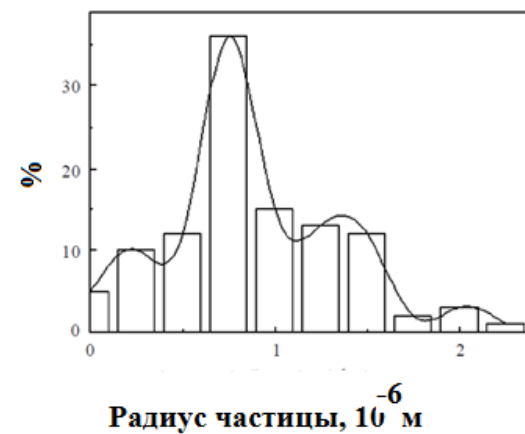
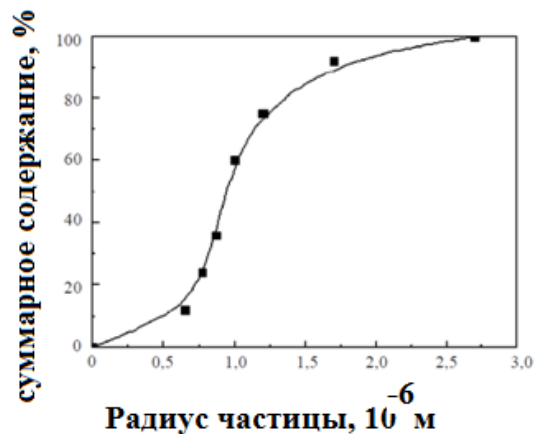
$$r = \sqrt{\frac{9\eta}{2g(\rho - \rho_0)} \cdot \frac{H}{\tau}}$$

Определяем долю каждой фракции по уравнению
 Заносим все данные в таблицу

$$Q_i = \frac{m_i}{m_{\max}} \cdot 100,$$

$\tau, \text{ с}$	120	300	600	900	1200	1500	2100
$m_i \cdot 10^3, \text{ Г}$	4	8,5	7,5	12	6	6	6
$Q_i, \%$	8	17	15	24	12	12	12
$r_i \cdot 10^6, \text{ м}$	2,7	1,7	1,2	1,0	0,87	0,77	0,65

Проводим обработку интегральной кривой для построения
 дифференциальной кривой распределения ($\Delta Q/\Delta r$)

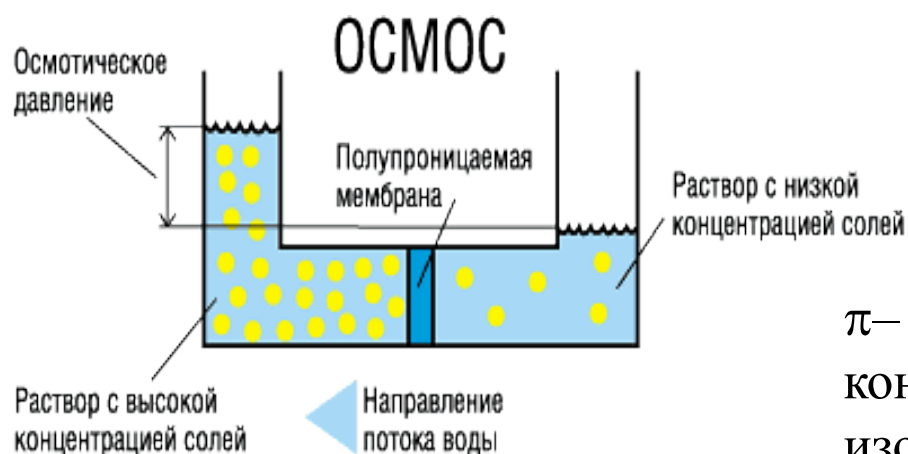


Интегральная кривая распределения

Дифференциальная кривая распределения

Осмотическое давление.

Осмоз – одностороннее направленное движение молекул растворителя (дисперсионной среды) через полупроницаемую мембрану в сторону большей концентрации растворенного вещества (дисперсной фазы).



уравнение Вант-Гоффа

$$\pi = i \cdot c \cdot R \cdot T$$

π – осмотическое давление; c – молярная концентрация растворенного вещества, i – изотонический коэффициент

Осмоз – термодинамический параметр

Природа осмоса носит диффузионный характер

Осмотическое давление относится к группе свойств растворов, называемых *коллигативными*

Коллигативные свойства растворов — это свойства растворов, обусловленные только самопроизвольным движением молекул, то есть они определяются не химическим составом, а числом кинетических единиц — молекул в единице объёма или массы

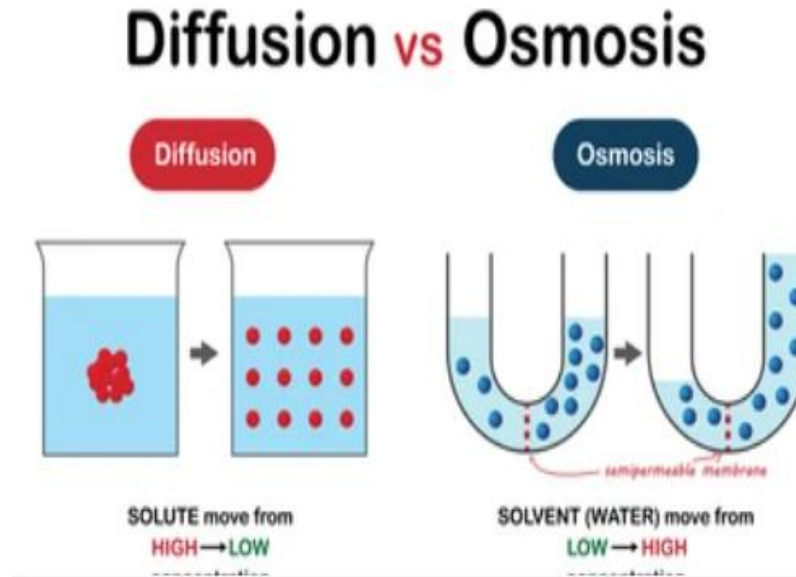
Изотонический коэффициент

i – **изотонический** коэффициент (коэффициент Вант-Гоффа).

Изотонический коэффициент i связан со степенью диссоциации электролита α следующим соотношением:

$$i = 1 + \alpha \cdot (n - 1)$$

где n – число ионов, на которые при диссоциации распадается одна молекула (формульная единица) электролита, α - степень диссоциации молекулы.



Задача Рассчитать изотонический коэффициент Вант-Гоффа для AlCl_3 , если «кажущаяся» степень диссоциации $\alpha_k = 80\%$

Решение.

Напишем уравнение диссоциации AlCl_3



В растворе сильного электролита изотонический коэффициент рассчитывается по формуле

$$i = 1 + \alpha \cdot (n - 1) = 1 + 0.8(4 - 1) = 3.4$$

Задача Рассчитать изотонический коэффициент Вант-Гоффа для AlCl_3 , если «кажущаяся» степень диссоциации $\alpha_k = 80\%$

Решение.

Напишем уравнение диссоциации AlCl_3



В растворе сильного электролита изотонический коэффициент рассчитывается по формуле

$$i = 1 + \alpha \cdot (n - 1) = 1 + 0.8(4 - 1) = 3.4$$