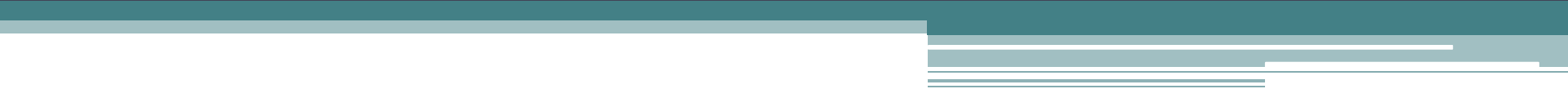


Молекулярно-кинетические свойства дисперсных систем

A decorative graphic element consisting of several horizontal lines of varying lengths and colors (teal, light blue, and white) extending from the left edge of the slide towards the right, positioned below the title.

Молекулярно-кинетические свойства это свойства, которые обусловлены самопроизвольным, хаотичным, тепловым движением частиц.

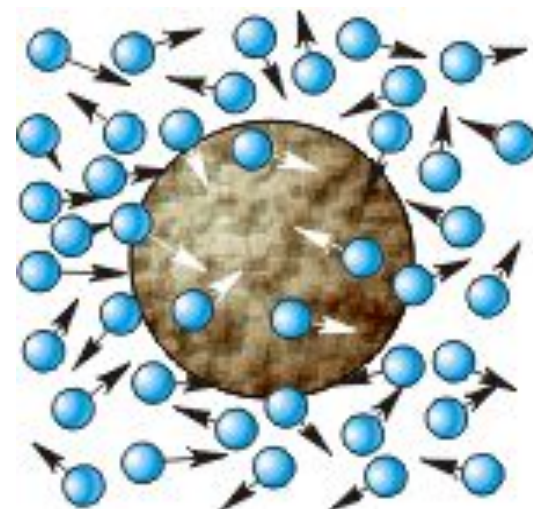
$$E_1 = \frac{mv^2}{2} = \frac{3k_B T}{2} \quad E = \frac{Mv^2}{2} = \frac{3RT}{2}$$

Это броуновское движение, диффузия, осмотическое давление, седиментационно-диффузионное равновесие.

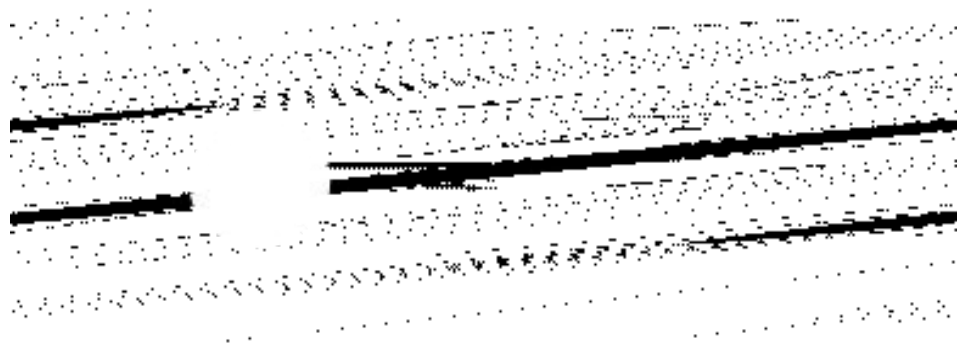
Броуновское движение

Роберт Броун в 1827 году первым наблюдал явление движения молекул, рассматривая в микроскоп споры растений, находящихся в жидкости.

Тепловое хаотическое движение частичек называется броуновским движением. Это движение возникает вследствие ударов молекул дисперсионной среды и частиц дисперсной фазы.



Броуновское движение происходит из-за того, что все жидкости и газы состоят из атомов или молекул — мельчайших частиц, которые находятся в постоянном хаотическом тепловом движении, и потому непрерывно толкают броуновскую частицу с разных сторон. Было установлено, что крупные частицы с размерами более 5 мкм в броуновском движении практически не участвуют (они неподвижны или седиментируют), более мелкие частицы (менее 3 мкм) двигаются поступательно по весьма сложным траекториям или вращаются. Когда в среду погружено крупное тело, то толчки, происходящие в огромном количестве, усредняются и формируют постоянное давление. Если крупное тело окружено средой со всех сторон, то давление практически уравнивается, остаётся только подъёмная сила Архимеда — такое тело плавно всплывает или тонет. Если же тело мелкое, как броуновская частица, то становятся заметны флуктуации давления, которые создают заметную случайно изменяющуюся силу, приводящую к колебаниям частицы. Броуновские частицы обычно не тонут и не всплывают, а находятся в среде во взвешенном состоянии.



В 1905 году Альбертом Эйнштейном была создана молекулярно-кинетическая теория для количественного описания броуновского движения. С помощью статистических методов он вывел формулу для среднего значения квадрата смещения броуновской частицы:

$$\langle r^2 \rangle = 6kT\eta t$$

где η - подвижность частицы, которая обратно пропорциональна вязкости среды и размеру частицы,
 t – время наблюдения, T – температура жидкости.

В частности, он вывел формулу для коэффициента диффузии сферических броуновских частиц:

$$D = \frac{RT}{6N_A\pi a\xi},$$

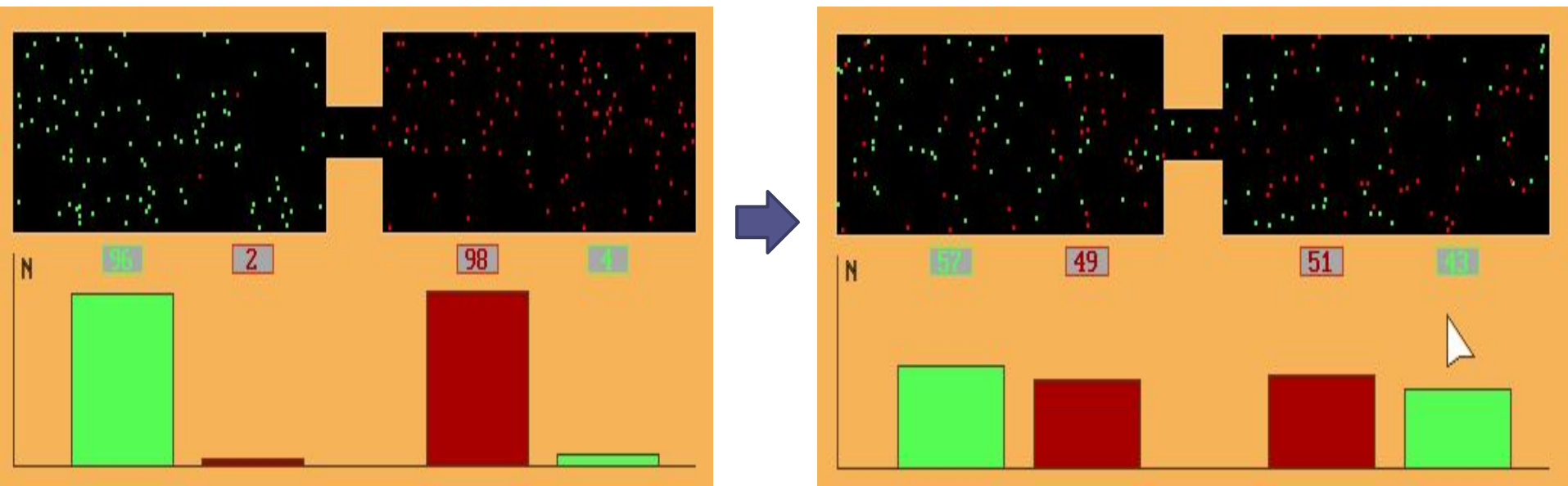
где D — коэффициент диффузии,
 R -универсальная газовая постоянная,
 T -абсолютная температура, N_A — постоянная
Авогадро, a — радиус частиц, ξ - динамическая
вязкость

Экспериментальное подтверждение

Формула Эйнштейна была подтверждена опытами Жана Перрена и его студентов в 1908-1909 гг. В качестве броуновских частиц они использовали зёрнышки смолы мастикового дерева и гуммигута — густого млечного сока деревьев рода гарциния. Справедливость формулы была установлена для различных размеров частиц — от 0,212 мкм до 5,5 мкм, для различных растворов (раствор сахара, глицерин), в которых двигались частицы

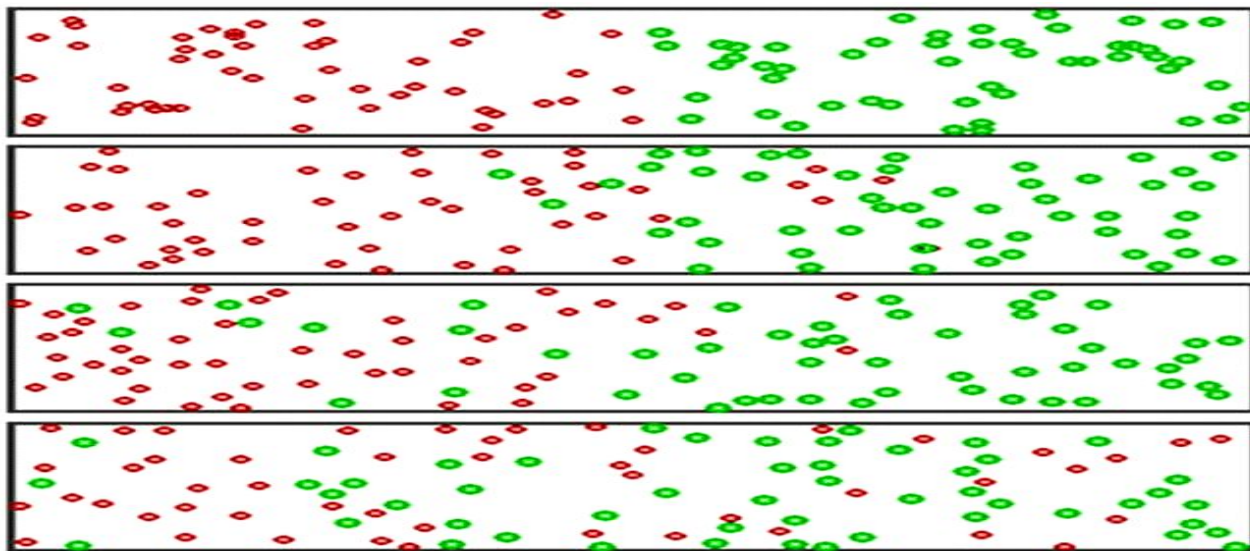
Диффузия

Это процесс самопроизвольного выравнивания концентрации диспергированного вещества под влиянием теплового хаотического движения частичек системы.



Диффузия в газообразных, жидких и твердых веществах

Частицы газа далеко удалены друг от друга. Между ними существуют большие промежутки. Сквозь эти промежутки легко перемещаются частицы другого газа. Поэтому диффузия в газах протекает быстро.



В жидкостях промежутки между частицами невелики. Сквозь них частицы другой жидкости проникают, но перемешивание жидкостей происходит медленно.



В твердых телах расстояния между частицами совсем маленькие. Они такие же, как размеры самих частиц, и даже меньше. Поэтому проникновение через такие малые промежутки крайне затруднено и происходит очень медленно.



- В изотермических условиях диффузия возникает из-за наличия градиентов концентрации вещества (концентрационная диффузия)
- Отдельным видом диффузии является термодиффузия в результате которой более тяжёлые и крупные молекулы идут к горячей области, а лёгкие и мелкие – к холодной
- Различают диффузию одного вещества в другом и самодиффузию

- Диффузия одного вещества в другом реализуется при малых концентрациях добавок
- При больших концентрациях имеем промежуточный случай между диффузией и самодиффузией
- Коэффициент самодиффузии можно измерить изучая проникновение радиоактивных изотопов в вещество
- Диффузия в твёрдых телах протекает медленнее, чем в жидкостях, а в жидкостях медленнее, чем в газах

- Концентрационная диффузия описывается законом Фика:

$$\Delta M = -D \frac{dc}{dx} \cdot S \cdot \Delta t$$

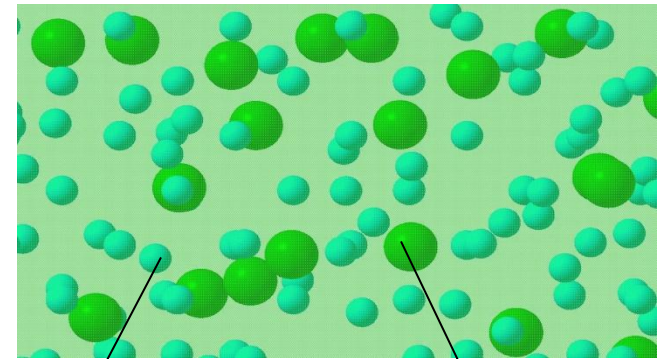
где D – коэффициент диффузии [$\text{м}^2/\text{с}$], M – масса, c – концентрация, S – площадь, t – время

- Диффузионный поток:

$$j_D = \frac{dM}{dt} \cdot \frac{1}{S} = -D \frac{dc}{dx}$$

Осмос

Осмос – самопроизвольный процесс, односторонней диффузии частиц через полупроницаемую мембрану.



Молекула
воды

Молекула соли

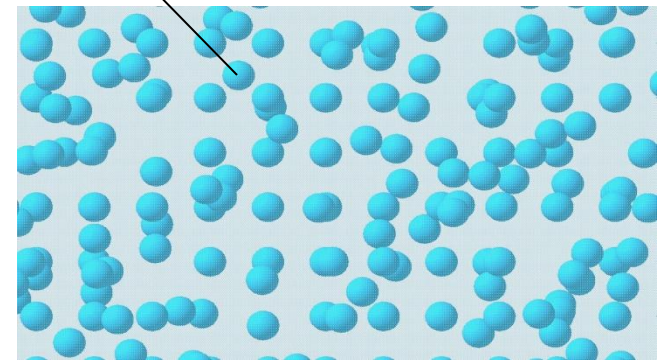
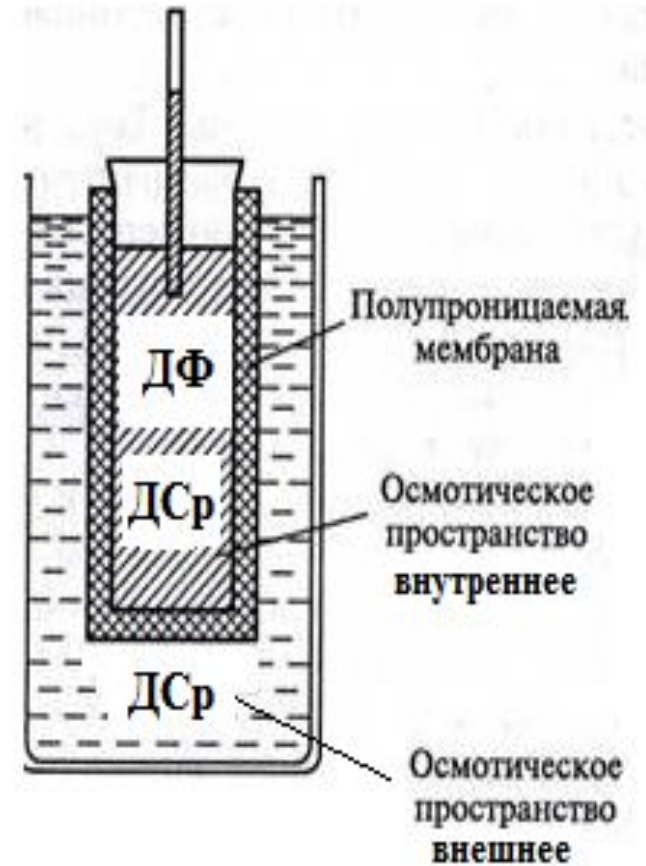


Схема осмотической ячейки

Возникает поток ДСр из внешнего пространства ячейки через полупроницаемую мембрану в область с большей концентрацией частиц ДФ (внутреннее пространство ячейки), что приводит к выравниванию концентраций.



Расчет осмотического давления (Π)

Осмотическое давление для молекулярно дисперсных систем (растворов неэлектролитов) рассчитывают по закону Вант-Гоффа:

$$\Pi = cRT$$

c – молярная концентрация раствора;

T – температура;

R – универсальная газовая константа
(8,314 Дж/моль·К)

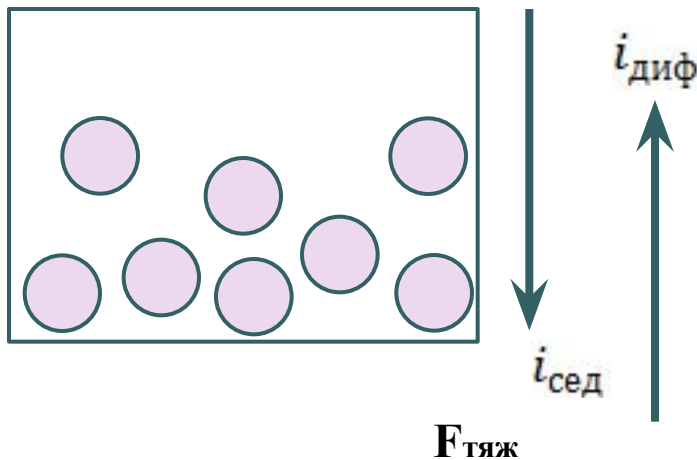
Осмотическое давление для коллоидных систем рассчитывают по уравнению, полученному после преобразований закона Вант-Гоффа:

$$\Pi = cRT = \frac{C_v}{N_A} RT = C_v k_B T$$

C_v – численная концентрация частиц ДФ в ДС;
 k_B – константа Больцмана ($1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К);
 N_A – число Авогадро ($6,02 \cdot 10^{23}$ частиц в 1 моль)

Седиментационно-диффузионное равновесие

При седиментации создается разность численных концентраций частиц ДФ по высоте столба ДСр, которая является движущей силой диффузии, направленной обратно силе тяжести.



Условие седиментационно-диффузионного равновесия:

$$i_{\text{сед}} = i_{\text{диф}}$$

$$i_{\text{сед}} = Uv$$

$$i_{\text{диф}} = \frac{D}{S\tau}$$

$i_{\text{сед}}$ – удельный седиментационный поток частиц ДФ;

$i_{\text{диф}}$ – удельный диффузионный поток частиц ДФ;

U – скорость седиментации; v – численная концентрация частиц ДФ;

D – коэффициент диффузии частиц ДФ за время τ ;

S – площадь сечения объема ДСр

Спасибо за внимание!