

ЛЕКЦИЯ №3

**МОЛЕКУЛЯРНО-
КИНЕТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ (МКТ)**

МКТ – теория, которая рассматривает строение вещества, на основе представлений об атомах и молекулах.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МКТ

1. Все в-ва состоят из атомов и молекул;
2. Эти частицы беспорядочно движутся;
3. Частицы взаимодействуют друг с другом.

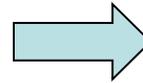
Д-во – Броуновское движение

Броуновское движение - тепловое движение взвешенных в жидкости или газе частиц.

Причина - удары молекул жидкости о частицу не компенсируют друг друга. Молекулы движутся еще более беспорядочно, чем броуновские частицы.

Размер атома $\sim 10^{-8}$ см

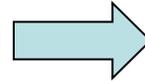
Масса молекулы воды $\sim 10^{-23}$ г.



Удобно использовать не **абсолютные** значения масс, а **относительные**.

Относительной молекулярной (или атомной) массой вещества M_r называют отношение массы молекулы (или атома) m_0 данного вещества к $1/12$ массы атома углерода m_{0C} .

Число молекул в любом теле
очень велико



В расчетах используют не **абсолютное** число молекул, а **относительное**

Один моль любого вещества – это количество вещества, в котором содержится столько же молекул или атомов, сколько атомов содержится в углероде массой 0.012 кг.



В одном моле любого вещества содержится одинаковое количество молекул.

N_A - постоянной Авогадро: $N_A = 6 \cdot 10^{23}$ моль $^{-1}$.

Количество вещества ν равно отношению числа молекул N в данном теле к постоянной Авогадро N_A , т.е. к числу молекул в 1 моле вещества:

$$\nu = \frac{N}{N_A}$$

Молярная масса вещества – масса вещества, взятого в количестве одного моля:

$$M = m_0 N_A \quad \text{где } m_0 \text{ – масса молекулы}$$



$$\nu = \frac{m}{M}$$

Количество вещества ν равно отношению массы вещества к его молярной массе

Макроскопические параметры – P,V,T

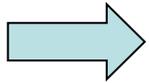
Для описания процессов в газах и других макроскопических телах нет необходимости все время прибегать к МКТ.

Поведение макроскопической системы можно охарактеризовать некоторыми параметрами, характеризующими систему, как единое целое.

Величины, характеризующие состояние макроскопических тел без учета молекулярного строения тел (V,P,T) называют **макроскопическими параметрами.**

Идеальный газ

У разреженного газа расстояние между молекулами во много раз превышает их размеры.



Взаимодействие между молекулами пренебрежимо мало и кинетическая энергия молекул много больше потенциальной энергии взаимодействия. Такой газ называется **идеальным газом**.

Средние значения квадрата скорости молекул

$$\bar{v}^2 = \frac{v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_N^2}{N} \quad \text{- среднее значение квадрата скорости молекул;}$$

$$v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2 \quad \text{Аналогично: } \bar{v}^2 = \bar{v}_x^2 + \bar{v}_y^2 + \bar{v}_z^2$$

$$\bar{v}_x^2 = \bar{v}_y^2 = \bar{v}_z^2 \quad \longrightarrow \quad \bar{v}_x^2 = \frac{1}{3} \bar{v}^2$$

Основное уравнение МКТ

$p = \frac{F}{S} = \frac{1}{3} m_0 n \bar{v}^2$ - эта формула связывает макроскопические характеристики газа с микроскопическими

Если $E = \frac{m_0 \bar{v}^2}{2} \longrightarrow p = \frac{2}{3} n E$

Можно предположить, что при тепловом равновесии средние кинетические энергии молекул всех газов одинаковы.

$$n = \frac{N}{V} \longrightarrow p = \frac{2}{3} \frac{N}{V} E \qquad N = \frac{m}{M} N_A$$

Если предположить, что E в состоянии теплового равновесия одна и та же для всех газов:

$$\longrightarrow p \frac{V}{N} = const$$

**Приведем газы в состояние теплового равновесия
(например, поместим в тающий лед $t=0$ 0С и подождем пока не
установится тепловое равновесие)**

p, V, N - для всех газов различны

Но в состоянии теплового равновесия $p \frac{V}{N} = const$

Т.е.
$$p_1 \frac{V_1}{N_1} = p_2 \frac{V_2}{N_2} = p_3 \frac{V_3}{N_3} = \Theta_0$$

$$\Theta_0 = 3.76 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$$

Если сосуды с этими же газами поместить в кипящую воду $t=100$ 0С
при нормальном атмосферном давлении:

$$p \frac{V}{N} = const \quad \Theta_{100} = 5.14 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$$

Определение температуры

Можно утверждать, что величина Θ растет с увеличением температуры. Кроме того, она больше ни от чего не зависит и ее можно рассматривать, как естественную меру температуры. Однако она выражена в энергетических единицах, что неудобно

$$\Theta = kT \quad \text{где } k\text{- коэффициент пропорциональности.}$$

Определенная этим равенством температура называется **абсолютной**.

$$\frac{pV}{N} = kT \quad \longrightarrow \quad \text{Следовательно, } T \text{ не может быть отрицательной:}$$
$$T_{\min} = 0$$

Предельную температуру, при которой давление идеального газа обращается в нуль при фиксированном объеме или объем идеального газа стремится к нулю при неизменном давлении называют абсолютным нулем.

Постоянная Больцмана

$$\Theta_{100} - \Theta_0 = k(T_2 - T_1)$$

Отсюда $k = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$ - Постоянная Больцмана

Постоянная Больцмана связывает температуру в энергетических единицах с температурой в кельвинах.

Связь абсолютной шкалы и шкалы Цельсия:

$$T = t + 273$$

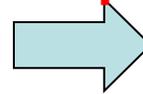
Средняя кинетическая энергия хаотического поступательного движения молекул газа пропорциональна абсолютной температуре.

С одной стороны

$$\frac{pV}{N} = \frac{2}{3} E$$

При приближении температуры к абсолютному нулю энергия теплового движения молекул приближается к нулю.

$$\frac{pV}{N} = kT$$



$$E = \frac{3}{2} kT$$

Гидродинамика

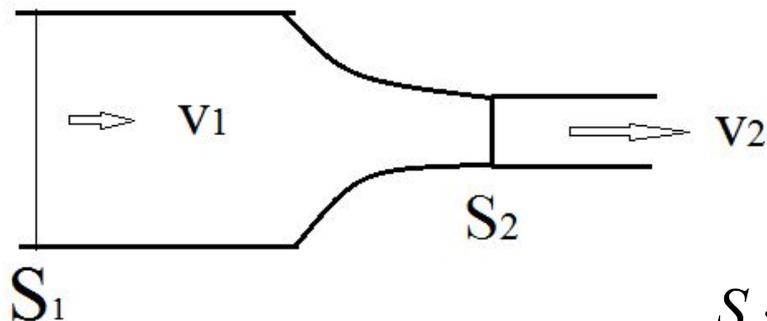
Гидродинамика (от греч. слова «вода»+динамика) – раздел физики, изучающий движение идеальных и реальных жидкостей.

Траектории движения жидкости – это линии, касательные к которым дают направление ее скорости. Их называют линиями тока жидкости. Такие линии тока образуют трубку (струю) тока жидкости.

В идеальной жидкости выполняется условие неразрывности струи:

Произведение средней скорости на площадь сечения потока есть постоянная величина в каждом сечении данного потока:

$$v_1 \cdot S_1 = v_2 \cdot S_2 = \dots = const$$



v_1, v_2 - средние скорости жидкости

S_1, S_2 - площади поперечного сечения

$S \cdot v = Q = const$ - Объемная скорость

Течение реальной жидкости. Формула Ньютона

В реальной жидкости между молекулами действуют силы молекулярного притяжения, сцепления и поэтому возникает внутреннее трение между слоями жидкости. **Это явление называется вязкостью.**

По Ньютону сила вязкости равна: $F = \eta \cdot S \frac{\Delta v}{\Delta x}$

η - коэффициент вязкости

S - площадь соприкосновения слоев жидкости

$\frac{\Delta v}{\Delta x} = \gamma$ - градиент скорости

v - скорость

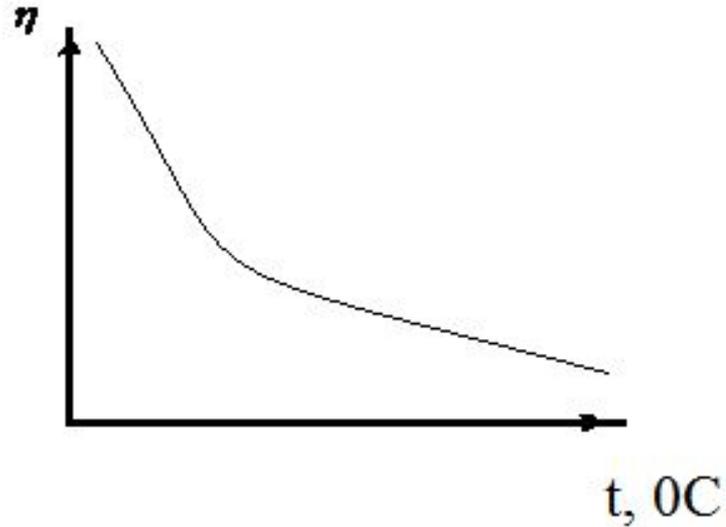
x - Направление движения

Используя механическое напряжение согласно формуле: $\frac{F}{S} = \sigma$

Получаем уравнение Ньютона в сжатом виде: $\sigma = \eta \cdot \gamma$

Где размерность вязкости: $[\eta] = \frac{H \cdot c}{m^2} = Pa \cdot c$

Вязкость зависит от температуры



Относительная вязкость – это отношение коэффициента данной жидкости к коэффициенту вязкости воды при той же температуре:

$$\eta_{\text{отн}} = \frac{\eta}{\eta_B}$$

$\eta_{\text{отн}}$ - Относительная вязкость

η_B - Вязкость воды

η - Вязкость жидкости

Ньютоновские жидкости – это такие жидкости, вязкость которых зависит только от их природы и температуры. Они подчиняются (при течении) уравнению Ньютона. Это чистые растворы и низкомолекулярные соединения (вода, водные растворы, этиловый спирт, ацетон и др.)

Неньютоновские жидкости – это такие жидкости, вязкость которых зависит не только от температуры и их природы, но также зависят от давления и градиента скорости. Это высокомолекулярные соединения, суспензии и эмульсии.

Физические свойства крови

Кровь – концентрированная суспензия форменных элементов в плазме.

Форменные элементы – это клетки крови (эритроциты, тромбоциты, лейкоциты).

Плазма представляет собой коллоидную суспензию белков в электролите.

Т.е. строго говоря, кровь является неньютоновской жидкостью, но при больших градиентах скорости она приближается по свойствам к Ньютоновской.

Из форменных элементов преобладают эритроциты, их 45% от объема и 93% от количества. Их основная роль – снабжение организма кислородом.

Физиологические свойства крови:

- Доставляет кислород к тканям
- Разносит по организму растворенные части продуктов питания
- Выполняет чисто физиологическую функцию: поддерживает постоянство температуры тела.

Диаметр эритроцитов млекопитающих примерно 5 мкм, но поскольку их количество очень велико, то общая поверхность эритроцитов превышает поверхность тела животного.

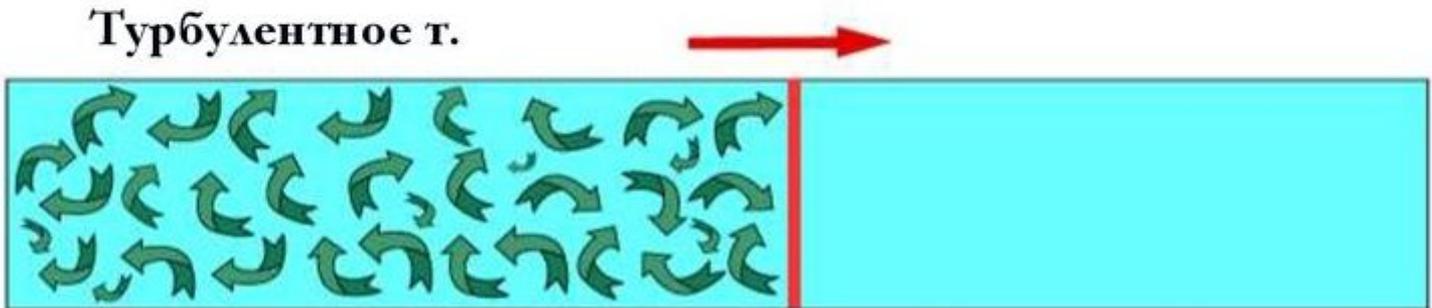
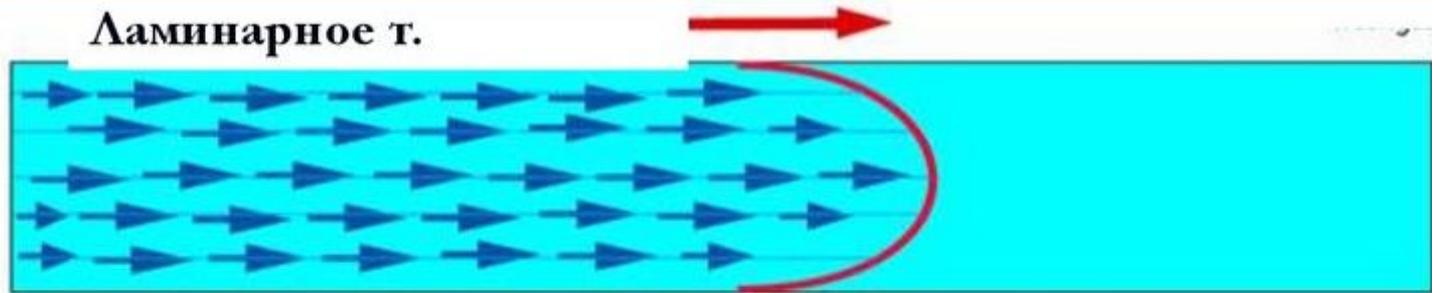
Считая в первом приближении эритроциты сферическими, можно применить к ним закон Стокса и вычислить скорость их оседания (СОЭ). На величину СОЭ влияет вязкость плазмы крови: при воспалительных процессах, беременности и других патологиях СОЭ служит важным диагностическим приемом.

Мембраны эритроцитов обладают значительной прочностью, однако при определенных физико-химических воздействиях они разрушаются. Степень прочности мембран эритроцитов меняется при некоторых патологиях, что также может быть использовано в диагностических целях. При циррозе печени снижается стойкость всей массы эритроцитов. При заболеваниях воспалительного характера (пневмония, мастит, эндометрит) увеличивается скорость разрушения эритроцитов. Эритроциты стриженной овцы менее устойчивы, чем эритроциты овцы, покрытой шерстью.

Виды течения жидкости

Ламинарное – это такое течение, которое идет отдельными слоями без перемешивания (стационарное течение).

Турбулентное – это течение с перемешиванием, завихрениями, сопровождающееся определенными звуками (нестационарное течение).



Английский физик Рейнольдс дал уравнение, характеризующее вид течения:

$$R_e = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\eta}$$

R_e - число Рейнольдса (безразмерная величина)

ρ - плотность

v - средняя скорость

D - диаметр трубки (потока)

η - вязкость

$R_e \geq 2300$ - Турбулентное течение

$R_e \leq 2300$ - Ламинарное течение

Течение крови в норме является ламинарным, лишь вблизи клапанов наблюдается небольшая турбулентность. При патологии, когда снижается вязкость и число Рейнольдса превышает 2300, движение становится турбулентным, что требует дополнительной работы сердца. Шум, возникающий в этом случае, является диагностическим признаком.

Закон Гагена-Пуазейля

Средняя скорость ламинарного течения жидкости по трубе:

$$v = \frac{r^2}{8 \cdot \eta} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta x}$$

$$\frac{\Delta P}{\Delta x} \quad \text{-градиент давления}$$

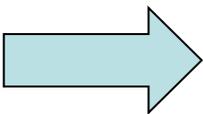
$$r \quad \text{-радиус трубы}$$

$$\eta \quad \text{-вязкость}$$

Учитывая, что объемная скорость:

$$Q = v \cdot S$$

$$S = \pi \cdot r^2 \quad \text{-площадь поперечного сечения}$$


$$Q = \frac{\pi \cdot r^4}{8 \cdot \eta} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta x}$$

Или сокращенно:

$$Q = \frac{P}{z}$$

$$z = \frac{8 \cdot \eta \cdot \Delta x}{\pi \cdot r^4}$$

Где **z** – гидравлическое сопротивление

$Q = \frac{P}{Z}$ - эта формула аналогична закону Ома ($I = \frac{U}{R}$), поэтому законы движения жидкости имеют аналогию с законами движения в цепи электрического тока.

Электрическая модель сердечно-сосудистой системы (ССС)

Сердце является основным источником энергии, обеспечивающим движение крови в сосудистой системе. Оно переводит химическую энергию, заключенную в молекулах АТФ (**аденозинтрифосфорная кислота**) в механическую работу.

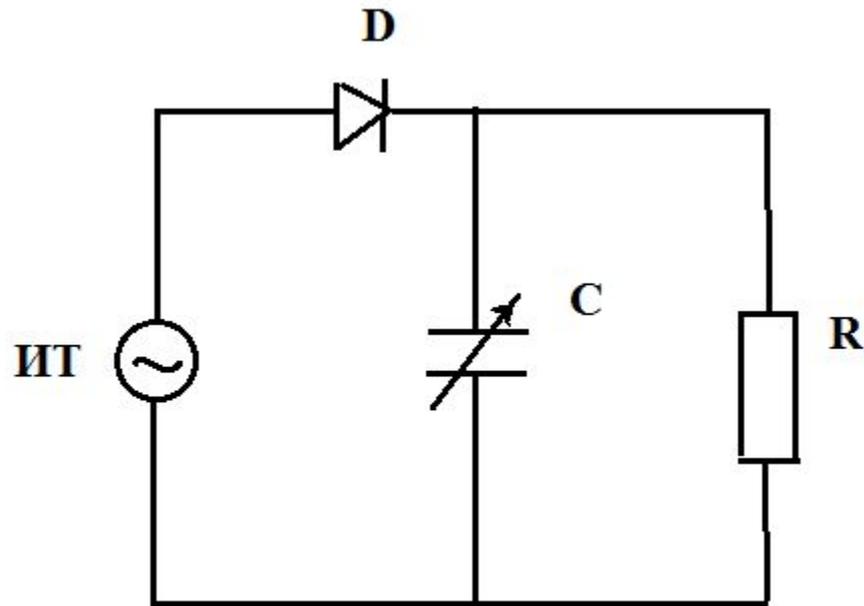
Фаза сокращения сердца называется **СИСТОЛОЙ**

Фаза расслабления – **ДИАСТОЛОЙ**

Сердце работает без перерыва в течении всей жизни организма, сокращаясь, например, за 70 лет жизни человека около 2,5 млрд. раз.

Выходя из аорты, кровь движется по разветвляющим элементам кровеносной системы и , попадая в капилляры, выполняет свою основную функцию.

Электрическая модель сердечно-сосудистой системы (ССС)



ИТ – источник переменного тока (моделирует сердце)

D – диод (моделирует клапан левого желудка)

C – конденсатор переменной емкости (моделирует крупные сосуды)

R – резистор (моделирует периферийные сосуды)

Пульсовые волны

Стенки кровеносных сосудов неодинаковы по своему строению. Аорта и крупные артерии имеют эластичные стенки. Течение жидкости по трубкам с эластичными стенками обладает определенной спецификой.

Деформация стенки распространяется вдоль сосудов и образует так называемую пульсовую волну. Её скорость:

$$V_n = \sqrt{\frac{E}{3\rho} \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^2 \right]}$$

E - Модуль Юнга

ρ - Плотность крови

d и D - Диаметры внешней и внутренней стенок сосуда

При каждом сокращении левого желудочка выбрасывается ударный объем крови. Он зависит от массы животного. Для коров – 580 мл, для собак – 10 мл, для человека – 60-70 мл.

В период **систо́лы** резко возрастает давление, аорта растягивается, клапан закрывается. Период **диасто́лы** (расслабления сердца) – рабочая фаза аорты и кровь проталкивается дальше, по сосудам идет упругая волна изменений давления и колебаний сосудистых стенок, которая называется пульсовой волной.