Законы сохранения

Внутренние и внешние силы

Тела, образующие механическую систему, могут взаимодействовать как между собой, так и с телами, не принадлежащими данной системе.

Силы

Внутренние

Внутренними называются силы, с которыми на данное тело воздействуют остальные тела системы

Внешние

Внешними называются силы, обусловленные воздействием тел, не принадлежащих системе

Центр масс (центр тяжести)

Центр масс системы движется как материальная точка, в которой сосредоточена масса всей системы и на которую действует сила, равная геометрической сумме всех ***внешних*** сил, действующих на систему.

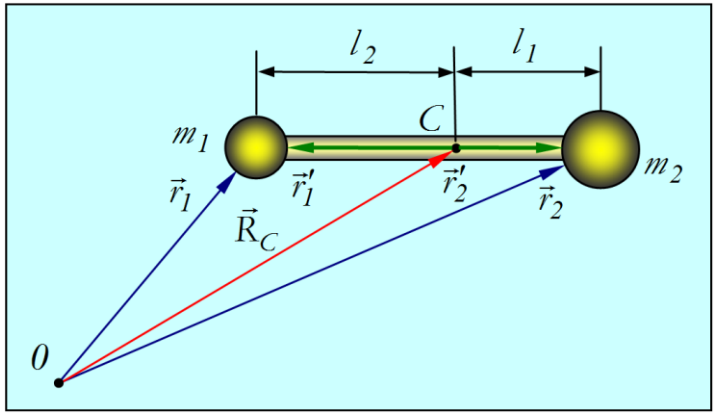
Положение центра масс определяется радиус-вектором $\overrightarrow{R_{цм}}$:

$$\vec{R}_{ц.м} = \frac{m_1\vec{r}_1 + m_2\vec{r}_2 + \cdot\cdot m_n\vec{r}_n}{m_1 + m_2 + \cdot\cdot m_n} = \frac{\sum_i^n m_i\vec{r}_i}{\sum_i^n m_i} = \frac{\sum_i^n m_i\vec{r}_i}{M}$$

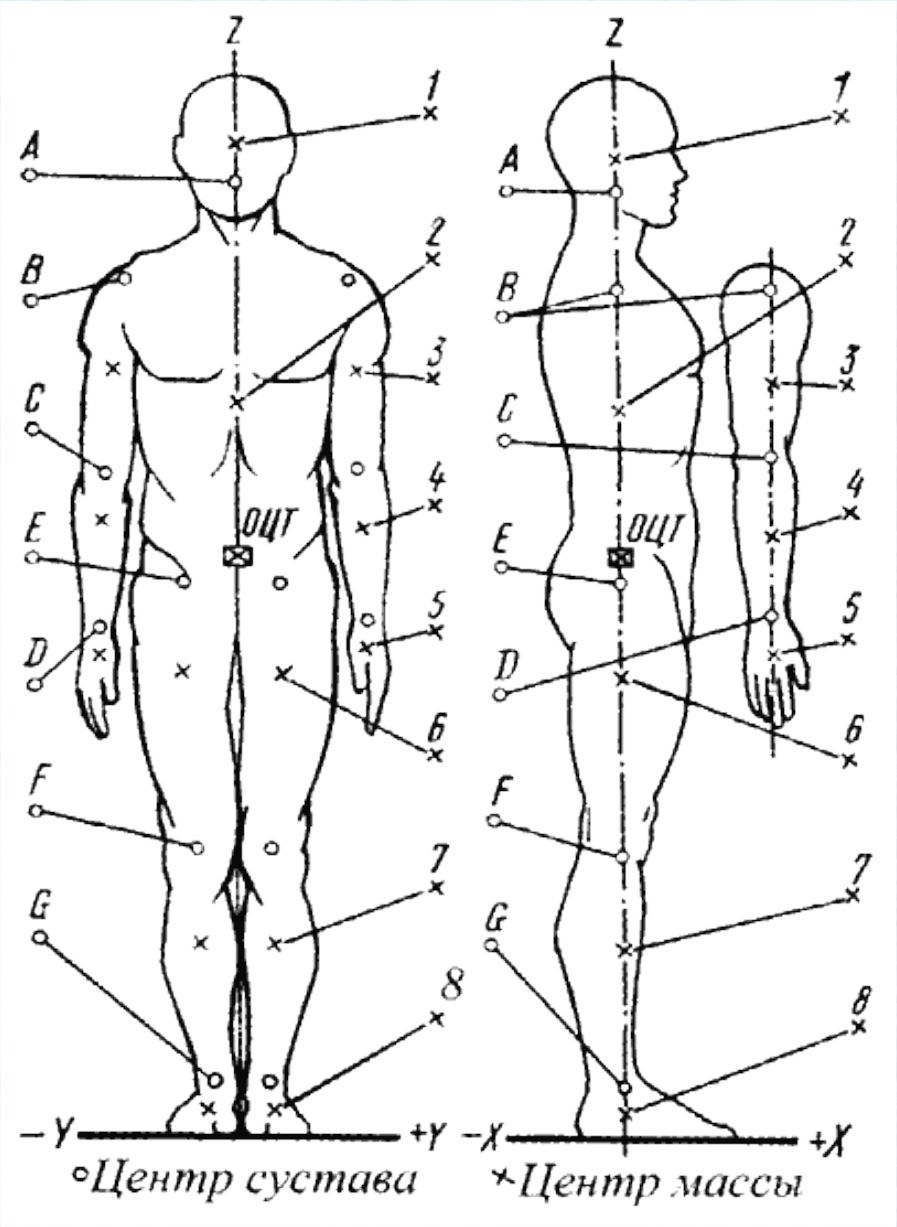
$\vec{r}_i$ **- радиус-вектор iой частицы**

m_i **– масса iой частицы**

M **– масса системы**



Центры масс человека и суставов



Замкнутая система

Система, на которую не действуют внешние силы называется **ЗАМКНУТОЙ**.

В замкнутой системе выполняются **ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ**:

- **ИМПУЛЬСА**

Является следствием <u>однородности пространства</u>: при параллельном переносе в пространстве замкнутой системы тел как целого ее физические свойства не изменяются (не зависят от выбора положения начала координат инерциальной системы отсчета)

- **ЭНЕРГИИ**

Является следствием <u>однородности времени</u>: независимости физических законов от выбора начала отсчета времени.

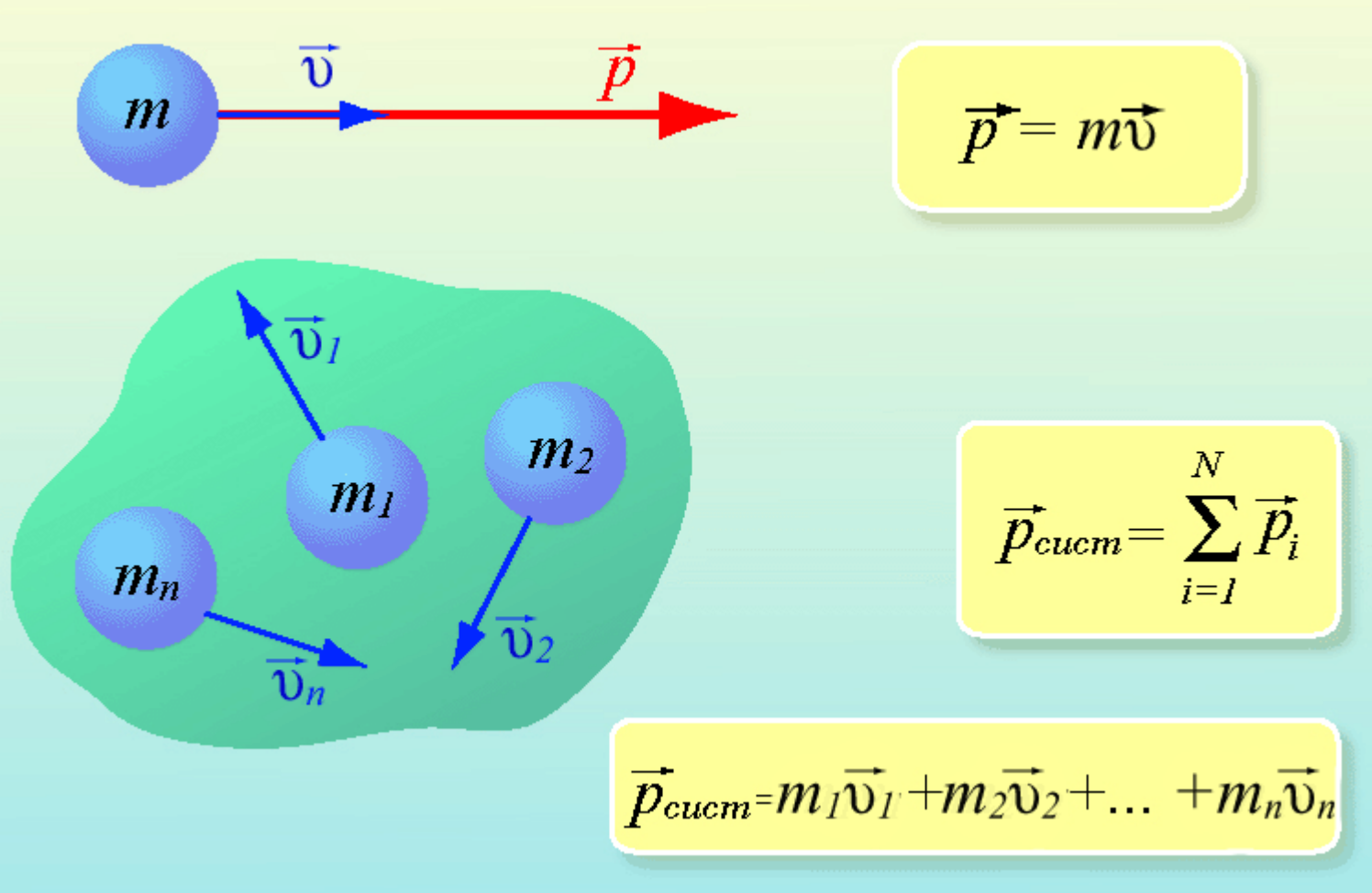
- **МОМЕНТА ИМПУЛЬСА**

Является следствием изотропности пространства: независимости физических законов относительно выбора направления осей координат системы отсчета

Импульс тела и системы тел

Физическая величина, равная произведению массы **m** на скорость тела $\vec{v}$ называется **импульсом тела** $\vec{p}$.

Импульс системы $\overrightarrow{p_{сист}}$ равен векторной сумме импульсов входящих в нее частиц.

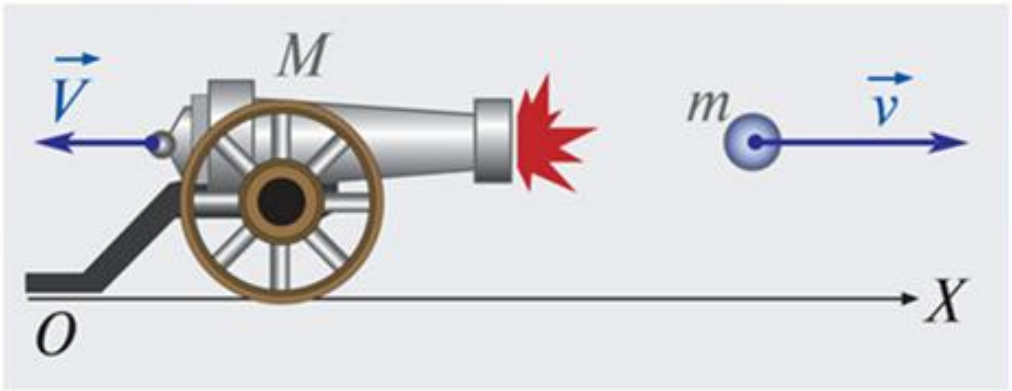


Закон сохранения импульса

В инерциальной системе отсчета **импульс замкнутой системы тел остается постоянным** при любых взаимодействиях тел этой системы:

$$\vec{p}_{сист} = \sum m_i \vec{\upsilon}_i = const$$

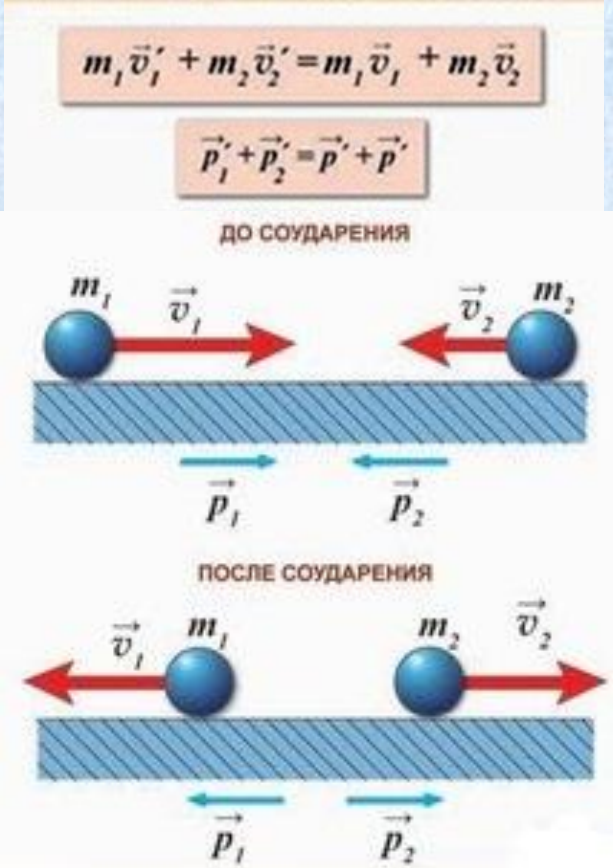
Примеры:



$$0 = M\vec{V} + m\vec{\upsilon}$$

$$\vec{V} = -m\vec{\upsilon}$$

$$\vec{V} = \frac{-m\vec{\upsilon}}{M}$$



Энергия

Энергия – это универсальная мера различных форм движения и взаимодействия.

С различными формами движения связывают различные формы энергии: **механическую**, тепловую, электромагнитную, ядерную и т.д. Изменение энергии механического движения тела вызывается силами, действующими на него со стороны других тел.

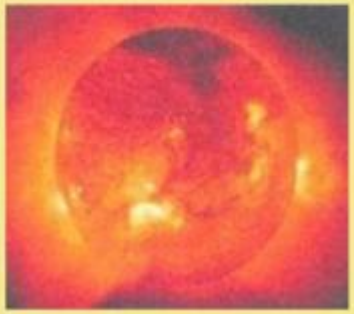
Виды энергии

Ядерная

Механическая

Электрическая

Тепловая



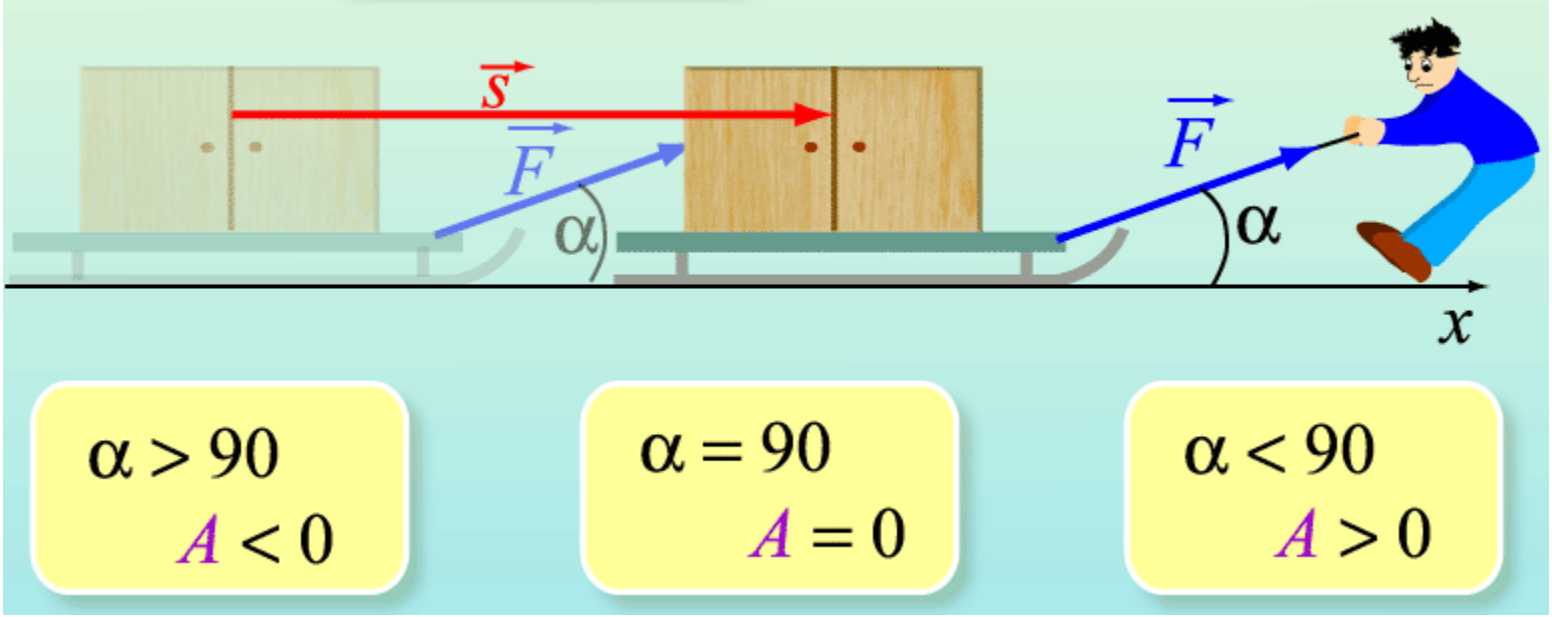
и т.д…

Работа силы

Работа силы – это количественная характеристика процесса обмена механической энергией между взаимодействующими телами.

При прямолинейном движении тела под действием постоянной силы $\vec{F}$, которая составляет некоторый угол α с направлением перемещения, **работа** этой **силы** равна:

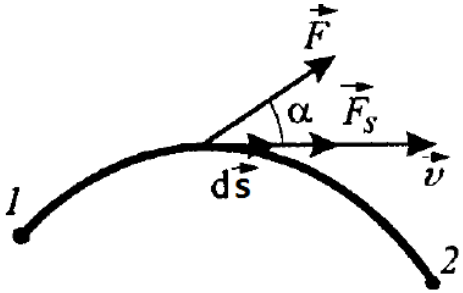
$$A = (\vec{F} \cdot \vec{s}) = F \cdot s \cdot \cos\alpha$$



Работа силы

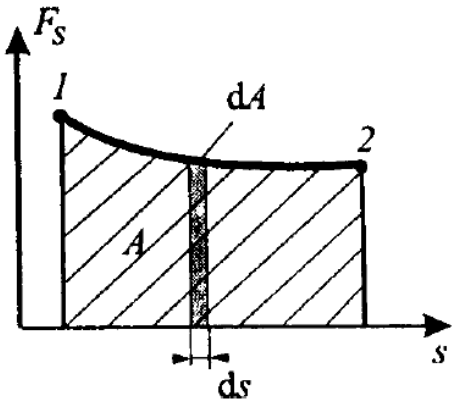
В общем случае сила может изменяться как по модулю, так и по направлению, поэтому формулой $A = F \cdot s \cdot cos\alpha$ пользоваться нельзя.

Для этого вводят понятие: **элементарная работа δA силы $\vec{F}$ - это работа силы на элементарном (бесконечно малом) перемещении $\overrightarrow{ds}$:**



$$\delta A = (\vec{F} \cdot \overrightarrow{ds}) = F \cdot ds \cdot \cos\alpha$$

Тогда **работа силы на участке траектории** от точки 1 до точки 2 равна алгебраической сумме элементарных работ на отдельных бесконечно малых участках пути:



$$A = \int_1^2 \delta A = \int_1^2 (\vec{F} \cdot \overrightarrow{ds}) = \int_1^2 F \cdot \cos\alpha \cdot ds$$

Механическая энергия

Кинетическая энергия

Кинетическая энергия– это энергия механического движения.

Кинетическая энергия зависит только от массы и скорости тела.

Приращение кинетической энергии частицы равно работе внешних сил:

$$\Delta Ek = A$$

Потенциальная энергия

Потенциальная энергия– это механическая энергия системы тел, определяемая их взаимным расположением и характером сил взаимодействия между ними.

Потенциальная энергия зависит только от конфигурации системы и ее положения по отношению к внешним телам.

Механическая энергия

Кинетическая энергия $E_к$:

$$E_к = \frac{mv^2}{2}$$

m – масса тела;
v – скорость тела.

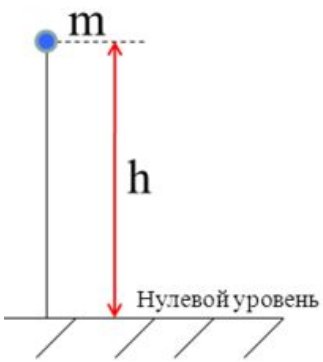
Изменение кинетической энергии равно работе ***A***:

$$A = E_{к2} - E_{к1} = \Delta E_к$$

Потенциальная энергия $E_п$.

Потенциальная энергия в поле силы тяжести:

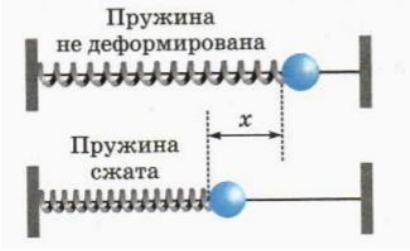
$$E_п = mgh$$



m – масса тела;
h – высота;
g = 9,8 м/с^2 – ускорение свободного падения.

Потенциальная энергия деформированной пружины:

$$E_п = \frac{kx^2}{2}$$



k – коэффициент жесткости;
x – изменение длины пружины.

Консервативные силы – силы, работа которых определяется только начальным и конечным положениями тела и не зависит от формы пути. Сила трения – неконсервативная сила.

Закон сохранения энергии

В замкнутой системе тел, между которыми действуют только консервативные силы, полная механическая энергия сохраняется.

$$E = E_к + E_п = const$$

Примеры:

Момент импульса

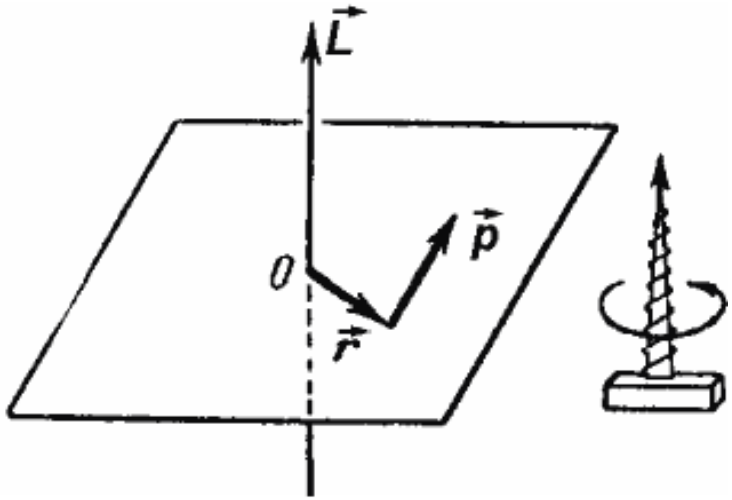
Моментом импульса $\vec{L}$ материальной точки А относительно неподвижной точки О называется физическая величина, определяемая векторным произведением :

$$\vec{L} = [\vec{r}, \vec{p}] = [\vec{r}, m\vec{\upsilon}] \qquad L = r \cdot p \cdot \sin\alpha$$

$\vec{r}$ - радиус-вектор в точку А из точки О; $\vec{p}$ - импульс тела;
α – угол между $\vec{r}$ и $\vec{p}$.

Если тело вращается по окружности, то:

$$\boxed{L = r \cdot m \cdot \upsilon}$$



Момент импульса системы тел относительно оси:

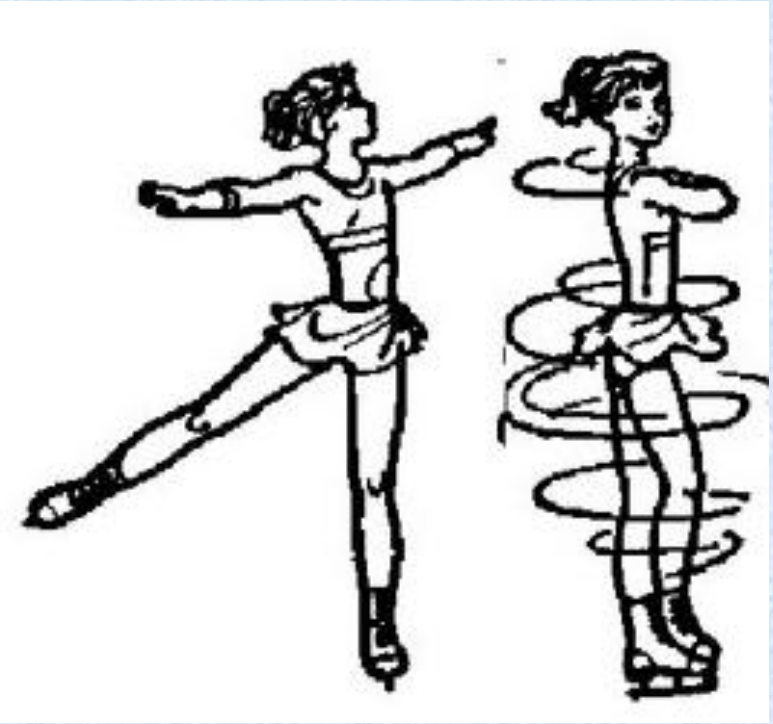
$$\vec{L} = \sum \vec{L_i} = \sum [\vec{r_i} \times \vec{p_i}] = \sum [\vec{r_i} \times m_i \vec{\upsilon_i}]$$

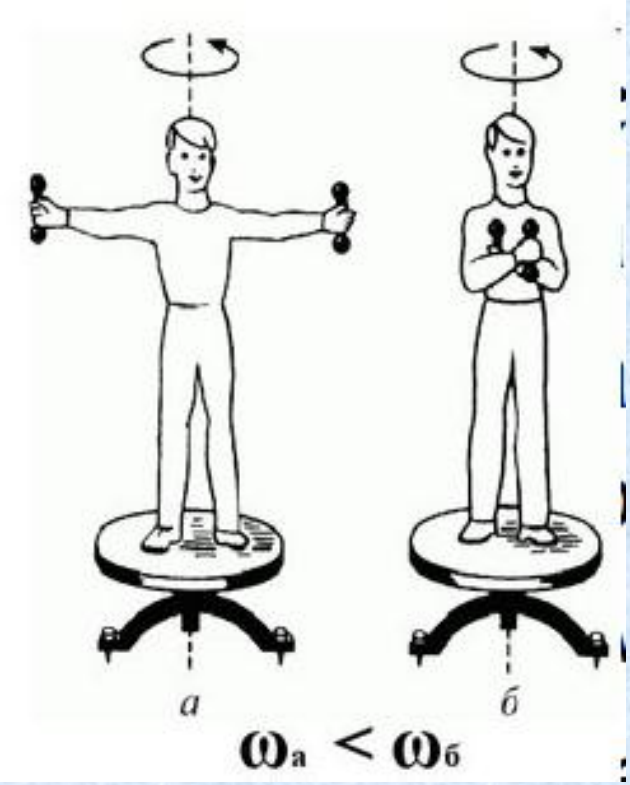
Закон сохранения момента импульса

В замкнутой системе тел полный момент импульса системы сохраняется.

$$\vec{L} = \sum \vec{L}_i = \sum [\vec{r}_i \times \vec{p}_i] = const$$

Примеры:





Гидроаэромеханика

Фазовые состояния вещества

Твердые тела

Частицы совершают лишь небольшие колебания около узлов кристаллической решетки.

Сохраняют свой объем и форму

Жидкости

Существует «ближний порядок» в расположении молекул жидкости, который через небольшие промежутки времени нарушается вследствие хаотических смещений молекул из одних положений в другие.

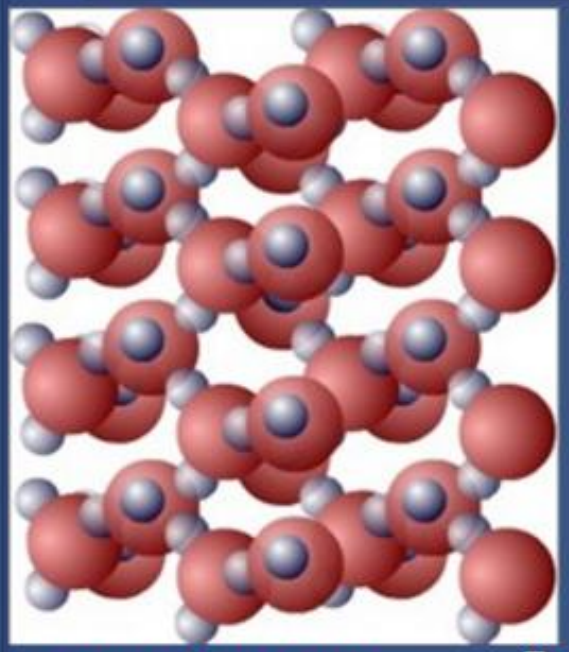
Сохраняют свой объем

Газы

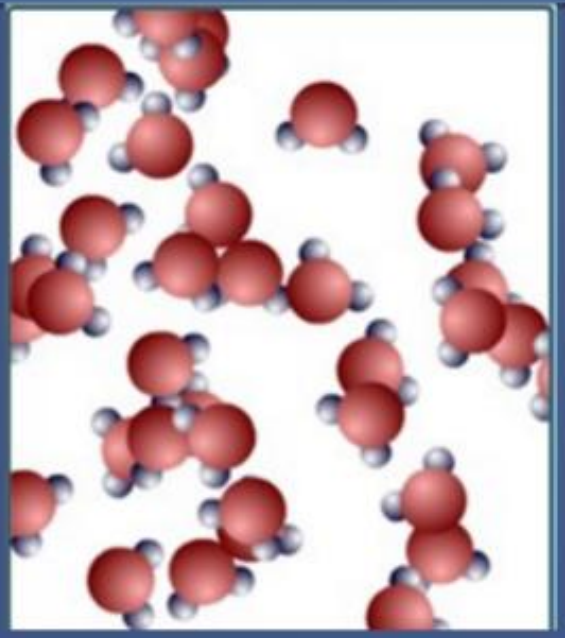
Молекулы свободно и беспорядочно перемещаются, время от времени соударяясь друг с другом по законам, близким к законам упругого удара.

Заполняют объем, ограниченный твердыми и жидкими телами

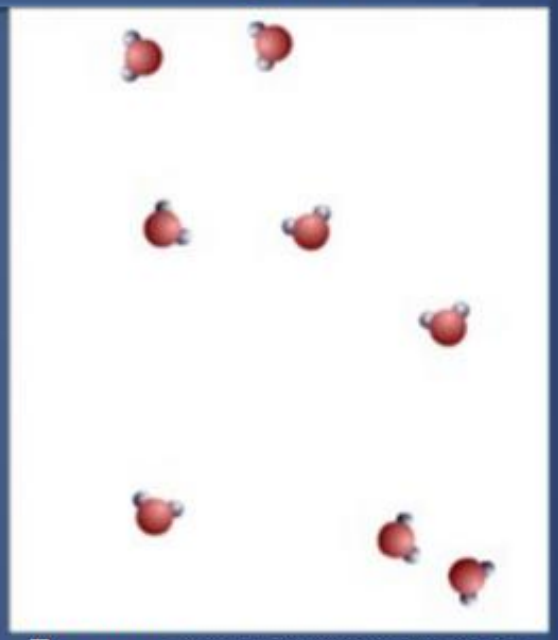
Модели строения газов, жидкостей и твердых



В **твердых телах** молекулы совершают **беспорядочные колебания около фиксированных центров** (положений равновесия).



В **жидкостях** молекулы имеют значительно **большую свободу** для теплового движения. Они не привязаны к определенным центрам и **могут перемещаться по всему объему** жидкости. Этим объясняется **текучесть** жидкостей.



В **газах** расстояния между молекулами обычно значительно больше их размеров, каждая молекула **движется** вдоль прямой линии до очередного **столкновения с другой молекулой** или со стенкой сосуда.

Гидроаэромеханика

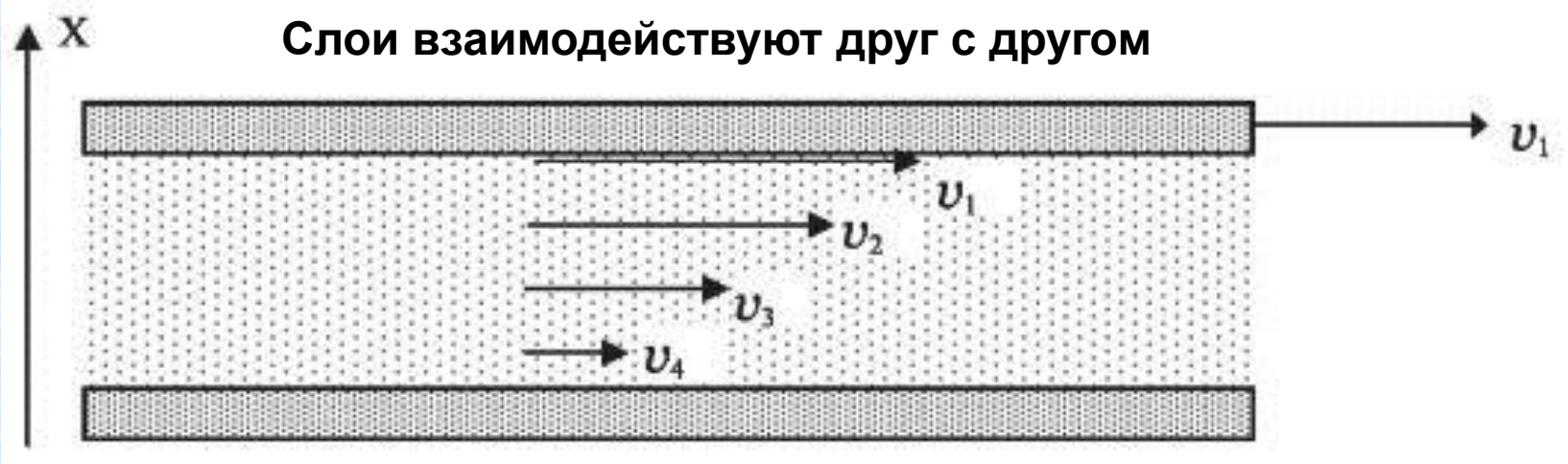
Раздел механики, в котором изучаются состояние равновесия и движения жидкостей и газов под действием внешних сил, называется **гидроаэромеханикой**.

Сжимаемость характеризует способность вещества изменять свой объем под действием всестороннего давления. Сжимаемостью обладают все вещества. Сжимаемость газов значительно больше, чем жидкостей, которые с определенной степенью точности можно считать практически несжимаемыми.

В физике используется физическая модель несжимаемой жидкости – жидкость, плотность которой всюду одинакова и не меняется со временем.

Вязкость

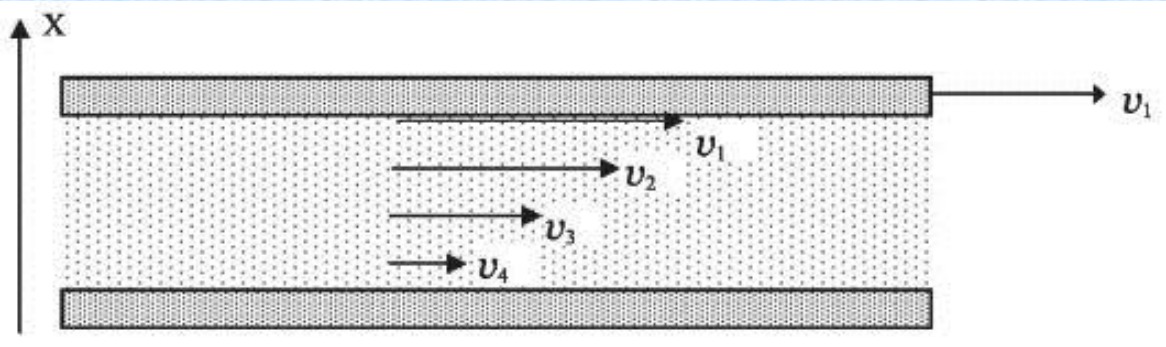
При течении реальной жидкости отдельные слои ее воздействуют друг на друга с силами, касательными к слоям. Это явление называют внутренним трением или **вязкостью**.



Поместим слой жидкости между двумя параллельными твердыми пластинами. «Нижняя» пластина закреплена. Если двигать «верхнюю» пластину с постоянной скоростью v_1, то с такой же скоростью будет двигаться самый «верхний» 1-й слой жидкости, который считаем «прилипшим» к верхней пластине. Этот слой влияет на нижележащий непосредственно под ним 2-й слой, заставляя его двигаться со скоростью v_2, причем $v_2 < v_1$. Каждый слой (выделим n слоев) передает движение нижележащему слою с меньшей скоростью. Слой, непосредственно «прилипший» к «нижней» пластине, остается неподвижным.

Вязкость

Слои взаимодействуют друг с другом. Изменение скорости течения жидкости в направлении, перпендикулярном поверхности слоя (x) характеризуют **градиентом скорости:** $\frac{dv}{dx}$



Силы, действующие между слоями и направленные по касательной к поверхности слоев, называются силами внутреннего трения или вязкости. Эти силы пропорциональны площади взаимодействующих слоев S и градиенту скорости. Для многих жидкостей силы внутреннего трения подчиняются **уравнению Ньютона**:

$$F_{тр} = -\eta \frac{dv}{dx} S$$

$\boldsymbol{F_{тр}}$ – сила вязкого трения; **η** – коэффициент динамической вязкости [Па·с]; $\boldsymbol{S}$ – площадь слоя; $\frac{dv}{dx}$ - градиент скорости.

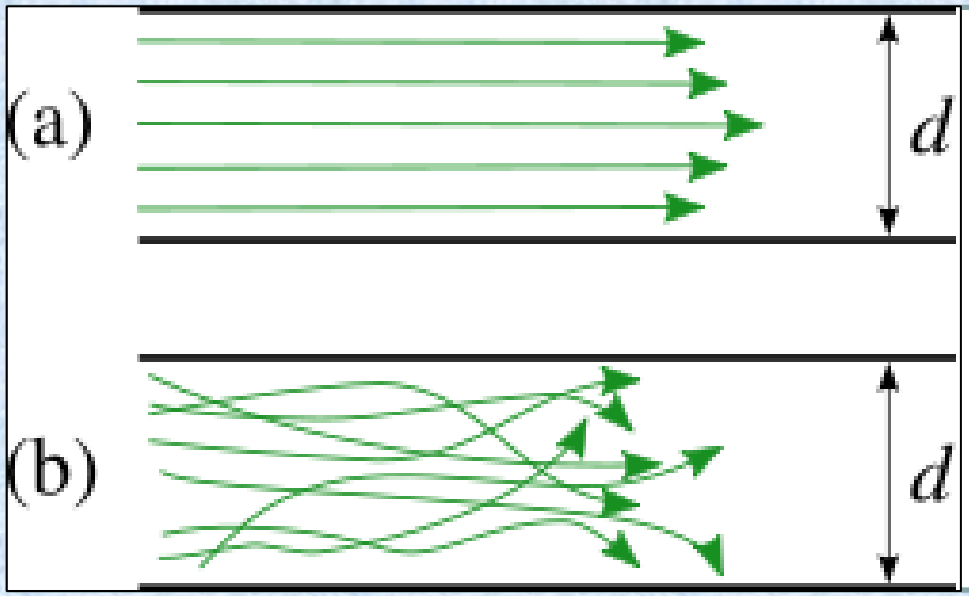
Ньютоновские и неньютоновские жидкости

Жидкости, вязкость которых может быть описана уравнением Ньютона, называются **ньютоновскими**.
Жидкости, вязкость которых не подчиняется уравнению Ньютона, называются **неньютоновскими**.

Жидкости, состоящие из сложных и крупных молекул, например растворы полимеров, и образующие благодаря сцеплению молекул или частиц пространственные структуры, являются неньютоновскими. Их вязкость при прочих равных условиях много больше, чем у простых жидкостей. Увеличение вязкости происходит потому, что при течении этих жидкостей работа внешней силы затрачивается не только на преодоление истинной, ньютоновской, вязкости, но и на разрушение структуры.

Кровь является неньютоновской жидкостью.

Ламинарное и турбулентное течение



Ламинарное течение

Турбулентное течение

При ламинарном течении слои жидкости не перемешиваются. Скорость течения в любой точке жидкости остается постоянной.

Турбулентное течение неустойчиво. Слои перемешиваются. Скорость каждой точки изменяется со временем.

Для турбулентного течения необходима большая энергия, чем для ламинарного, поскольку при турбулентном течении существенно возрастает внутреннее трение между частицами жидкости.

Число Рейнольдса

Переход из ламинарного течения в турбулентное зависит от значения безразмерной величины, называемой **числом Рейнольдса:**

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho v d}{\eta}$$

ρ – плотность жидкости; ***v*** – скорость жидкости;
d – диаметр трубы; **η** – коэффициент динамической вязкости.

Критическая величина числа Рейнольдса для цилиндрических трубок, при котором ламинарное течение становится турбулентным - 2000 - 2400.

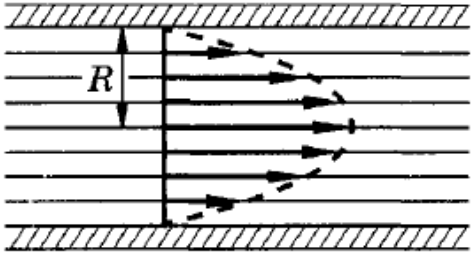
Для воды $\mathrm{Re}_{кр}$ = 2300.

Критическая скорость - скорость жидкости, при превышении которой ламинарное течение переходит в турбулентное.

Течение крови в сосудах является ламинарным (за исключением аорты). В аорте наблюдается турбулентное течение крови во время физической работы, которая приводит к существенному увеличению скорости течения крови. Поток крови также может стать турбулентным в артериях при уменьшении площади их поперечного сечения вследствие патологических процессов. Причиной этого феномена является повышение скорости течения крови.

Течение вязкой жидкости по трубам. Формула Пуазейля

Течение вязкой жидкости по трубам представляет для медицины особый интерес, так как **кровеносная система состоит в основном из цилиндрических сосудов разного диаметра**.



Распределение скорости слоев в трубе радиуса R

Закон Пуазейля связывает объемную скорость течения жидкости с разностью давления в начале и конце трубки как движущей силой потока, вязкостью жидкости, радиусом и длиной трубки. ***Закон Пуазейля используют в случае, если течение жидкости ламинарное.***

Формула закона Пуазейля: $$Q = \frac{(P_1 - P_2) \cdot \pi \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l}$$

где $\boldsymbol{Q}$ - объемная скорость жидкости (м^3/с), ($\boldsymbol{P_1}$ - $\boldsymbol{P_2}$) - различие давления через концы трубки (Па), $\boldsymbol{r}$ - внутренний радиус трубки (м), $\boldsymbol{l}$ - длина трубки (м), $\boldsymbol{\eta}$ - вязкость жидкости (Па с).

Вязкость крови

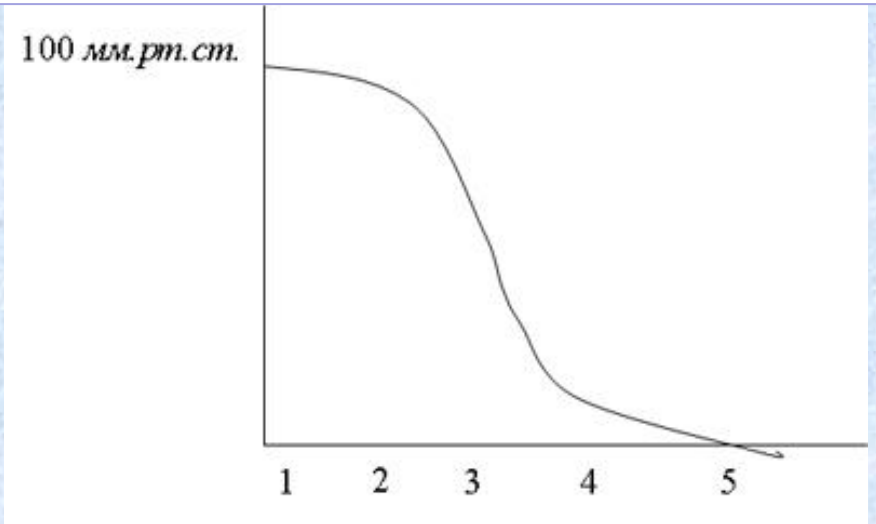
Кровь является более плотной и вязкой, чем вода.
В среднем вязкость крови почти в 4,5 раза больше вязкости воды (3,5-5,4).

Вязкость крови измеряется в лаборатории с помощью специального прибора - медицинского вискозиметра. **Кровь является неньютоновской жидкостью.** Но при такой скорости течения, которая поддерживается в сосудах кровеносной системы, вязкие свойства крови можно рассматривать, как для ньютоновских жидкостей.

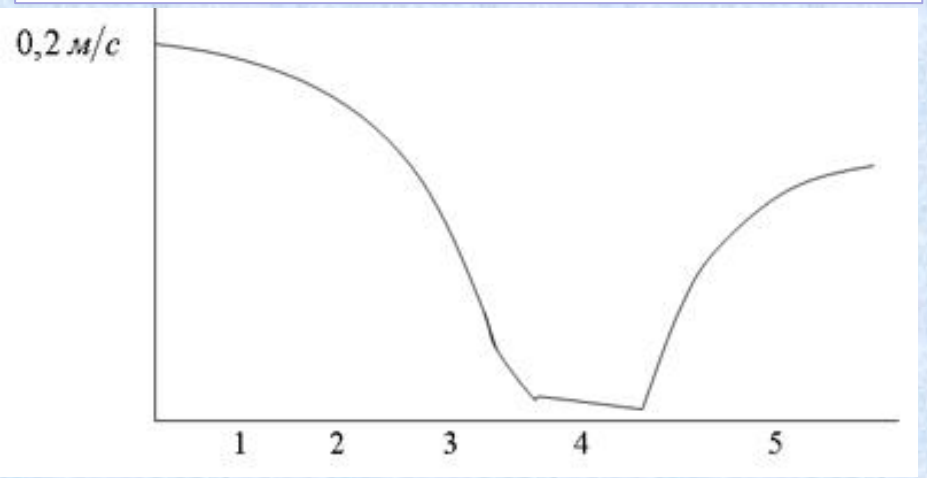
Вязкость крови зависит, главным образом, от концентрации эритроцитов и меньше - от концентрации белков плазмы. Она зависит также от скорости течения крови. Если скорость течения крови уменьшается, эритроциты собираются в специфические скопления, так называемые «монетные столбики». Это приводит к повышению вязкости крови. Такой феномен может наблюдаться в мелких кровеносных сосудах, где скорость течения крови небольшая.

Давление и скорость течения крови

Среднее давление крови в разных отделах кровеносной системы:1. Аорта. 2. Артерии. 3. Артериолы. 4.Капилляры. 5. Вены.



Средняя скорость течения крови в разных отделах кровеносной системы.
1. Аорта. 2. Артерии. 3. Артериолы.
4. Капилляры. 5. Вены.



Средние величины давления крови (мм.рт.ст.):
100 - в небольших артериях,
95 - при переходя из артерий в артериолы,
35-70 - при поступлении крови из артериол в капилляры,
20-35 – в больших венах,
10 и менее – в мелких венах.

Средние величины скорости крови:
0,2 м/с - в аорте,
0,0003 м/с - в капиллярах.

Движение тел в вязкой жидкости. Закон Стокса

Вязкость проявляется при движении не только жидкости по трубам, но и тел в жидкости.

Для сферического тела (шарика) зависимость силы сопротивления при его движении в сосуде с жидкостью от перечисленных выше факторов выражается **законом Стокса:**

$$F_c = 6\pi\eta r\upsilon$$

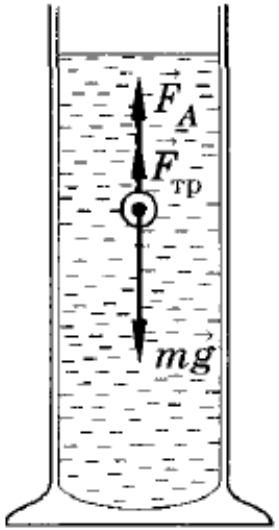
$F_{тр}$ – сила сопротивления;
η – динамическая вязкость жидкости;
r – радиус шарика;
υ – скорость шарика.

Движение тел в вязкой жидкости. Закон Стокса

При падении шарика в вязкой среде на него действуют три силы: а) сила тяжести $mg = {}^4/_3\,\rho\pi r^3 g$; б) выталкивающая (архимедова) сила $F_A = m_ж g = {}^4/_3\,\rho_ж \pi r^3 g$, где $m_ж$ — масса вытесненной шаром жидкости, $\rho_ж$ — ее плотность; в) $F_{тр}$ — сила сопротивления .

При попадании шарика в вязкую жидкость его скорость уменьшается. Так как сила сопротивления прямо пропорциональна скорости, то и она будет уменьшаться до тех пор, пока движение не станет равномерным. В этом случае (рис. 7.6)

$$m\vec{g} + \vec{F}_A + \vec{F}_{тр} = 0$$



или в скалярной форме при подстановке соответствующих выражений для сил

$${}^4/_3\pi r^3\rho g - {}^4/_3\pi r^3\rho_ж g - 6\pi\eta r v_0 = 0,$$

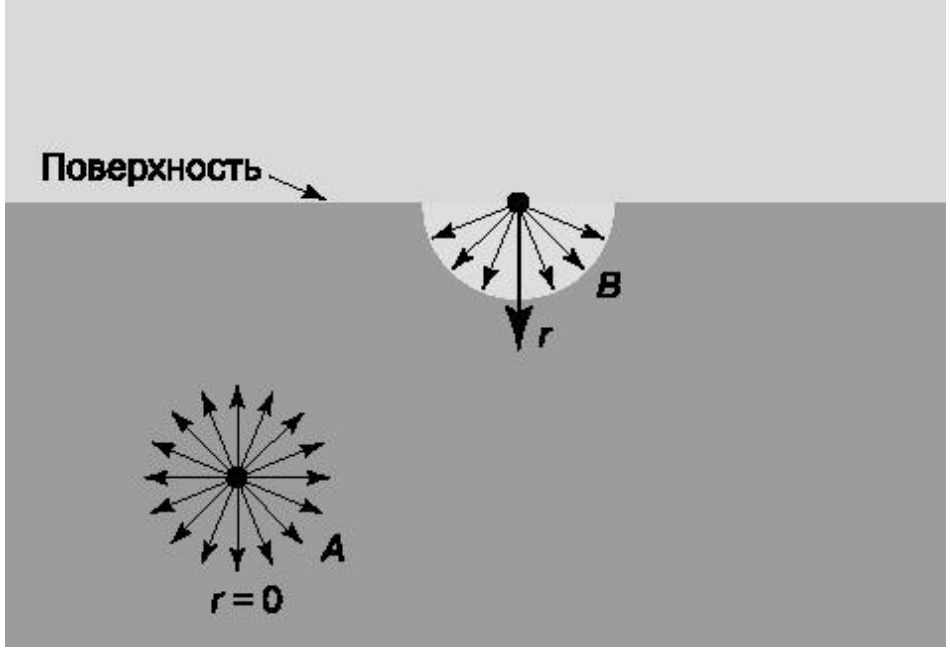
где v_0 — скорость равномерного движения (падения) шарика. Из (7.14) получаем

$$v_0 = \frac{2(\rho - \rho_ж)r^2 g}{9\eta}.$$

Поверхностное натяжение

На поверхностях раздела жидкости и ее насыщенного пара, двух несмешиваемых жидкостей, жидкости и твердого тела возникают силы, обусловленные различным межмолекулярным взаимодействием граничащих сред.

Каждая молекула, расположенная внутри объема жидкости, равномерно окружена соседними молекулами и взаимодействует с ними, но равнодействующая этих сил равна нулю. **На молекулу, находящуюся вблизи границы двух сред, вследствие неоднородности окружения действует сила, не скомпенсированная другими молекулами жидкости. Поэтому для перемещения молекул из объема в поверхностный слой необходимо совершить работу.**



Коэффициент поверхностного натяжения

Энергетическое определение:

Поверхностное натяжение (коэффициент поверхностного натяжения) определяется отношением работы, затраченной на создание некоторой поверхности жидкости при постоянной температуре, к площади этой поверхности:

$$\sigma = A/S$$

Динамическое определение:

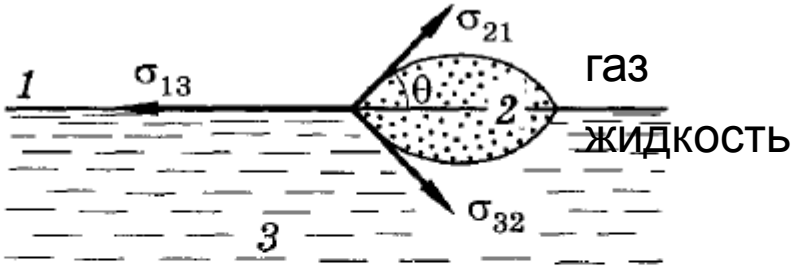
Поверхностное натяжение равно отношению силы поверхностного натяжения к длине отрезка, на котором действует эта сила:

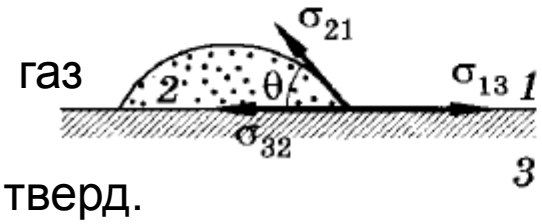
$$\sigma = F/l$$

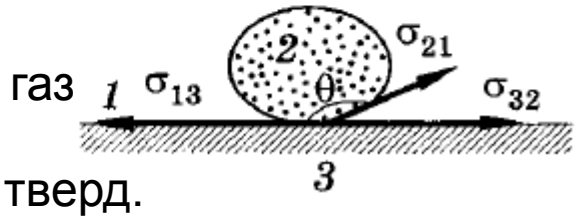
Жидкость	σ, Н/м	Жидкость	σ, Н/м
Вода	0,0725	Ртуть	0,47
Желчь	0,048	Спирт	0,022
Молоко	0,05	Сыворотка крови	0,06
Моча	0,066	Эфир	0,017

Смачивание и несмачивание

На границе соприкосновения различных сред может наблюдаться **смачивание или несмачивание.**







Угол θ между смачиваемой поверхностью и касательной к поверхности жидкости, отсчитываемый через нее, **называют краевым углом**.

За меру смачивания принимают величину: $\cos\theta = (\sigma_{13} - \sigma_{32})/\sigma_{21}$

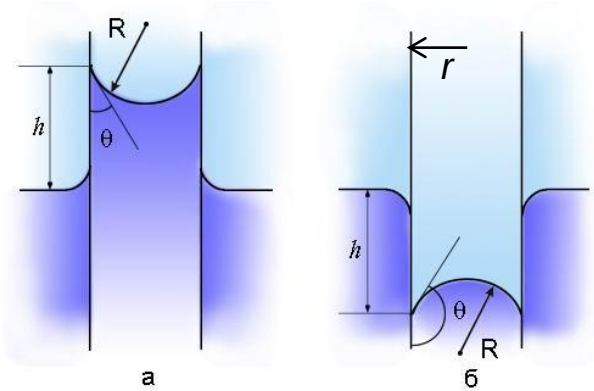
Если $\theta < \pi/2$, и жидкость смачивает твердое тело, поверхность которого в этом случае называется гидрофильной. В случае $\theta > \pi/2$, жидкость не смачивает тело, поверхность его в этом случае называют гидрофобной. Несмачивающая жидкость не протекает через малые отверстия в твердом теле.

Капиллярные явления

Под действием сил поверхностного натяжения поверхностный слой жидкости искривлен и оказывает дополнительное по отношению к внешнему давление **Δp**. Поверхностный слой подобен упругой оболочке, например резиновой пленке. Результирующая сил поверхностного натяжения искривленной поверхности направлена в сторону вогнутости (к центру кривизны). В случае сферической поверхности, радиус кривизны которой ***r*** **дополнительное давление:**

$$\Delta p = 2\sigma / r.$$

Искривление поверхности (мениск), в частности, возникает в узких (капиллярных) трубках в результате смачивания или несмачивания жидкостью их поверхности. При смачивании образуется вогнутый мениск. Силы давления направлены от жидкости наружу, т. е. вверх, и обусловливают подъем жидкости в капилляре. Это равновесное состояние, показанное на рисунке, наступает тогда, когда давление **ρgh** уравновесит **Δp**.



$$\Delta p = 2\sigma / r.$$

$$P_1 - P_2 = \rho g h.$$

$$h = \frac{2\sigma}{\rho g R} = \frac{2\sigma \cos\theta}{\rho g r}$$

Капиллярные явления в сосудах

Если давление жидкости на пузырек с разных сторон одинаково, то оба мениска пузырька будут иметь одинаковый радиус кривизны, и силы дополнительного давления будут уравновешивать друг друга $\mathbf{F_1 = -F_2}$ (рис. а).

При избыточном давлении с одной из сторон, например при движении жидкости, мениски деформируются, изменятся их радиусы кривизны, дополнительное давление **Δp** с разных сторон станет неодинаковым. Это приведет к такому **воздействию на жидкость со стороны пузырька воздуха (газа), которое затруднит или прекратит движение жидкости**. Такие явления могут происходить в кровеносной системе человека. Попавшие в кровь пузырьки воздуха могут закупорить мелкий сосуд и лишить кровоснабжения какой-либо орган. Это явление, называемое **эмболией** может привести к серьезному функциональному расстройству или даже летальному исходу.