

Тема: Гидродинамика

Гидродинамикой называется раздел физики, изучающий движение идеальных и реальных жидкостей и газа, и их силовое взаимодействие с твёрдыми телами.

Гидростатикой называется раздел физики, изучающий поведение жидкостей и газов в состоянии равновесия.

Жидкостью называется тело, которое способно деформироваться (течь) под воздействием сколь угодно малой касательной силы.

Идеальной называется жидкость, не имеющая внутреннего трения (то есть вязкости).

При течении идеальной жидкости между её слоями нет сил трения, а при течении реальной жидкости между её слоями действуют силы трения, касательные к соприкасающимся слоям.

Плотностью тела называется величина равная отношению массы этого тела m к его объёму V :

$$\rho = \frac{m}{V}.$$

$$[\rho] = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}, \text{ килограмм на метр кубический}$$

Давлением p (пэ) называется физическая величина, равная отношению силы F_{\perp} , действующей перпендикулярно поверхности площадью S , к величине этой поверхности:

$$p = \frac{F_{\perp}}{S},$$

$$[p] = \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} \equiv \text{Па} - \text{Паскаль.}$$

Сила давления жидкости (или газа) $F_{\perp} = pS$ всегда направлена перпендикулярно поверхности сосуда, на которую она действует, не зависимо от формы сосуда.

Давление жидкости на глубине h

Наблюдения показывают, что давление в жидкости линейно увеличивается с глубиной по закону:

$$p = \rho gh,$$

Если на поверхность жидкости дополнительно действует внешнее давление p_a (например, атмосферное), то

$$p = p_a + \rho gh,$$

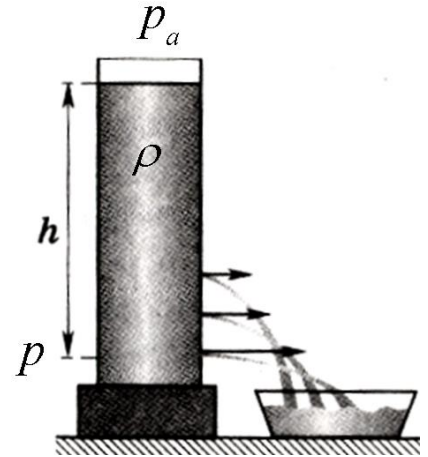
где p - давление в жидкости на глубине h , Па;

p_a - внешнее давление на поверхность жидкости (обычно атмосферное давление), Па;

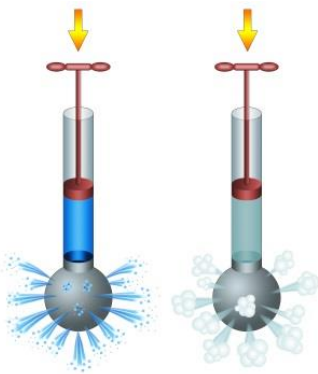
ρ - плотность жидкости, кг/м³;

g - ускорение свободного падения, м/с²;

h - глубина от поверхности жидкости, м.



Этот рисунок можете не рисовать



Закон Паскаля

Давление, оказываемое на поверхность несжимаемой жидкости, находящейся в закрытом сосуде в состоянии гидростатического равновесия, передается без изменения к любой точке жидкости и к стенкам сосуда.

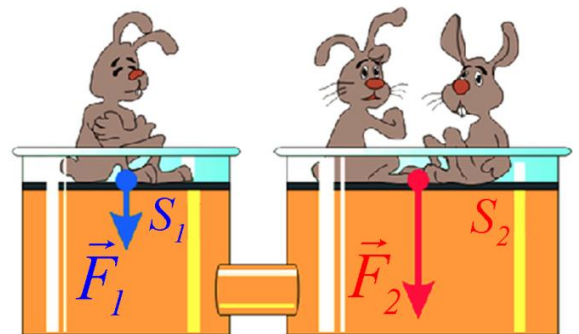
Этот рисунок можете не рисовать

На законе Паскаля основана работа гидравлического пресса:

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{S_2}{S_1}$$

где F_1 - сила, действующая на поршень площадью S_1 ,

F_2 - сила, действующая на поршень площадью S_2 .

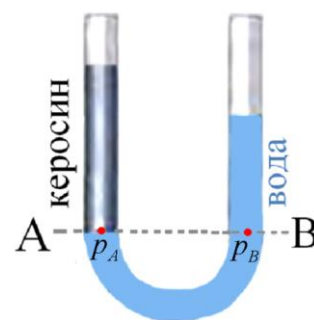


Этот рисунок можете не рисовать

Следствие из закона Паскаля

Давление в любой точке на одном и том же горизонтальном уровне в покоящейся жидкости или газе имеет одно и то же значение

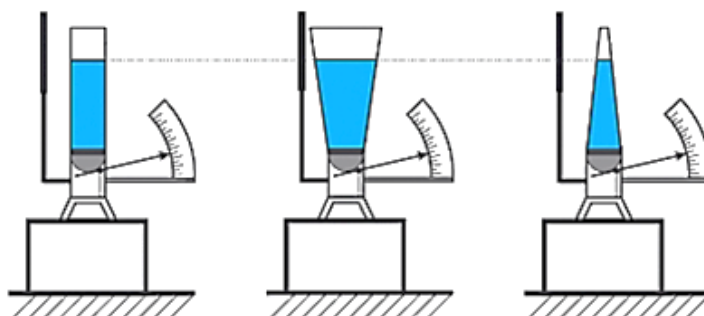
Давление на уровне АВ в обоих коленах трубки одинаково $p_A = p_B$ (см. рис)



Гидростатический парадокс

Давление жидкости на дно сосуда не зависит от формы сосуда, а определяется лишь высотой столба жидкости в данном сосуде.

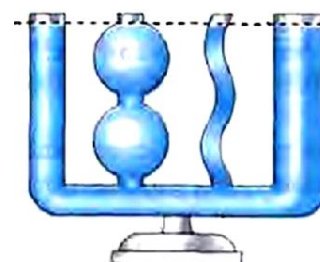
(на рис. давление жидкости на дно во всех сосудах одинаково)



Этот рисунок можете не рисовать

Закон сообщающихся сосудов

В сообщающихся сосудах однородная жидкость устанавливается всегда на одном и том же горизонтальном уровне.



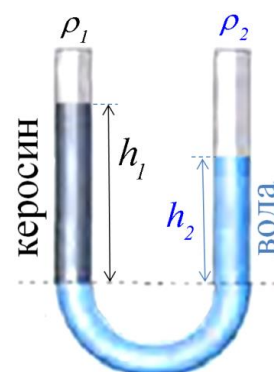
Высоты столбов неоднородной жидкости обратно пропорциональны их плотностям:

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}$$

где

h_1 и h_2 - высота столбов разнородных жидкостей в коленах трубки, м,

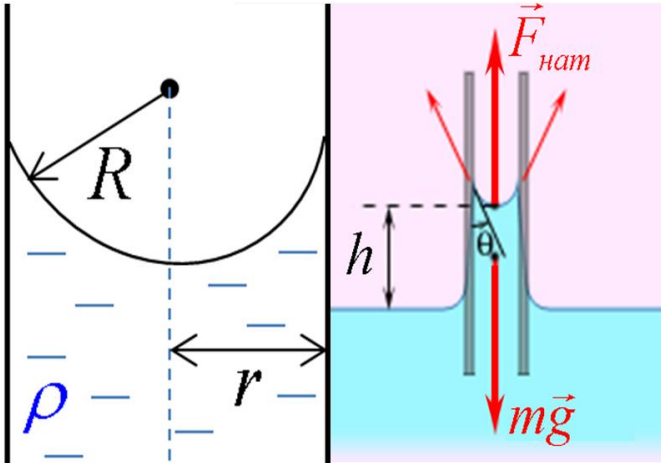
ρ_1 и ρ_2 - плотности жидкостей в коленах трубки, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.



Капиллярные явления

Капилляром называется трубочка малого диаметра ($d \leq 1\text{мм}$), в которой наблюдается подъём или опускание жидкости под действием сил поверхностного натяжения.

Высота подъёма (глубина опускания) жидкости в капилляре



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

где σ - коэффициент поверхностного натяжения, $\frac{Н}{м}$;

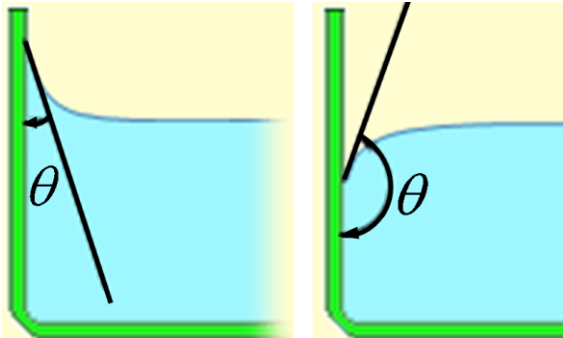
R - радиус кривизны поверхности жидкости, м;

r - радиус капилляра, м;

ρ (ρ_0) - плотность жидкости, $\frac{кг}{м^3}$;

θ (тэта) - краевой угол.

Этот рисунок можете не рисовать

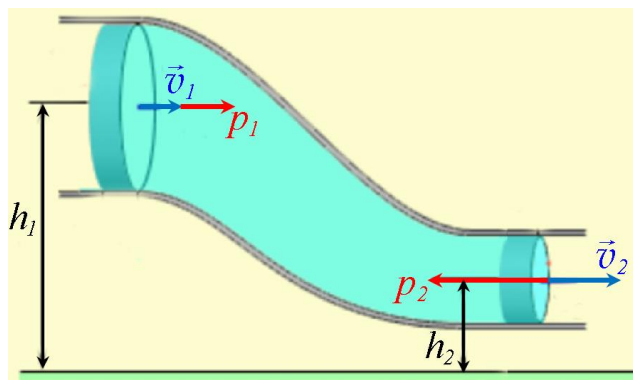


Краевым углом θ называется угол, который образуется между касательной, проведённой к поверхности раздела жидкости и газа, а так же жидкости и твёрдой поверхности с вершиной, располагающейся в точке контакта трёх фаз, и условно измеряемый всегда вовнутрь жидкости.

Закон Бернулли для идеальной жидкости

Сумма статического давления p , давления обусловленного весом жидкости ρgh , и динамического давления $\frac{\rho v^2}{2}$ в идеальной жидкости не изменяется с течением времени вдоль любой трубки тока:

$$p + \rho gh + \frac{\rho v^2}{2} = const,$$



где

p - статическое давление, Па;

ρ - плотность жидкости, $\frac{кг}{м^3}$;

v - скорость жидкости, $\frac{м}{с}$;

Этот рисунок можете не рисовать

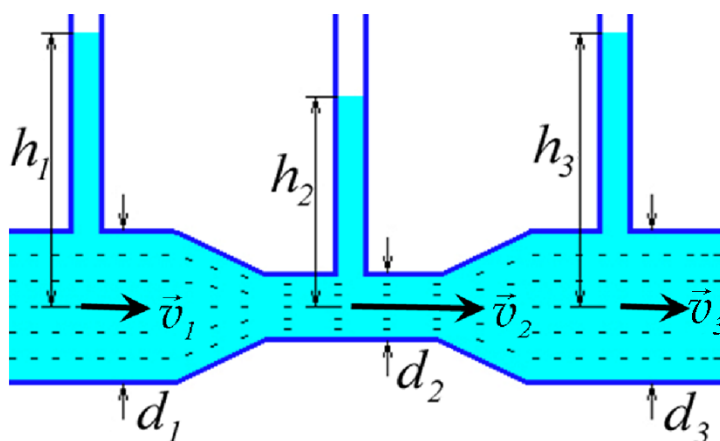
g - ускорение свободного падения, $\frac{м}{с^2}$;

ρgh - гидростатическое давление, Па;

$\frac{\rho v^2}{2}$ - динамическое давление, Па.

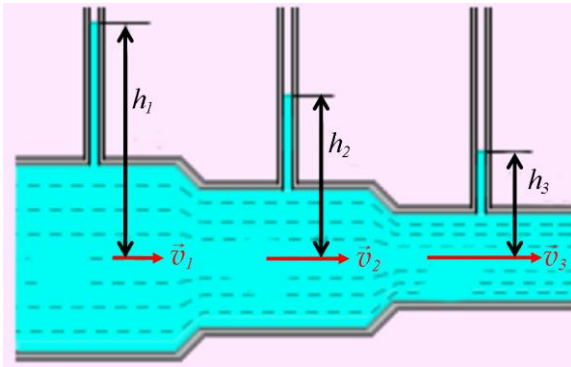
Следствие из закона Бернулли

При течении жидкости (газа) по горизонтальной трубке, имеющей различные сечения, скорость жидкости (газа) больше в местах сужения, а статическое давление больше в более широких местах, то есть там, где скорость течения меньше.



Этот рисунок можете не рисовать

Уравнение неразрывности для несжимаемой жидкости



Произведение скорости v несжимаемой жидкости на поперечное сечение трубки тока S есть величина постоянная для данной трубки тока:

$$\Delta V = S_1 v_1 t_1 = S_2 v_2 t_2,$$

следовательно,

$$Sv = \text{const}$$

Этот рисунок можете не рисовать

Закон Архимеда

На тело, погруженное в жидкость или газ, действует направленная вертикально вверх выталкивающая сила, равная по величине весу жидкости или газа, вытесненной телом.

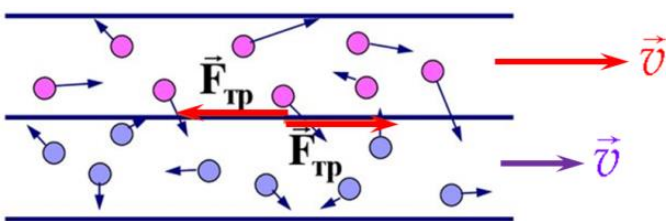


Условия плавания тел

- если $\rho_{\text{тела}} \geq \rho_{\text{жидкости}}$, то тело тонет,
- если $\rho_{\text{тела}} \leq \rho_{\text{жидкости}}$, то тело всплывает,
- если $\rho_{\text{тела}} = \rho_{\text{жидкости}}$, то тело находится во взвешенном состоянии.

Вязкое трение

Вязким трением (или **вязкостью**) называется сила трения, возникающая между слоями жидкости или газа, перемещающимися параллельно друг другу с различными по модулю скоростями.



С молекулярно-кинетической точки зрения причиной вязкости является наложение упорядоченного движения слоев газа, движущихся с различными скоростями \vec{v}_1 , и \vec{v}_2 и хаотического теплового движения молекул.

Этот рисунок можете не рисовать

В газах, благодаря тепловому движению, молекулы из быстрого слоя переходят в медленный слой и ускоряют его. И, наоборот, молекулы из медленного слоя переходят в быстрый слой и тормозят его.

Благодаря этому возникают силы трения, направленные по касательной к поверхности соприкосновения слоев.

В жидкостях силы вязкости возникают в основном не за счёт перехода молекул из одного слоя в другой, а за счёт сил межмолекулярного притяжения между молекулами соседних движущихся слоёв.

Со стороны слоя, движущегося более быстро силы межмолекулярного притяжения вызывают ускоряющую силу, действующую на более медленный слой, и, наоборот.

Уравнение Ньютона для вязкого трения

Для силы внутреннего трения справедливо **уравнение Ньютона**:

$$F_{тр} = \eta \frac{dv}{dx} S,$$

где
 η (эта) - коэффициент вязкости (табличная величина), $Па \cdot с$;
 $\frac{dv}{dx}$ - градиент скорости в направлении оси ox , перпендикулярной к направлению движения слоев, $\frac{l}{c}$;

S - величина площади поверхности слоя, по которой действует сила $F_{тр}$.

Формула Стокса

При небольших скоростях, сопротивление среды обусловлено практически только силами трения и зависит от формы тела. Стокс установил, что в случае сферического тела, силу сопротивления можно определить по формуле:

$$F_{тр} = 6\pi\eta r v,$$

где
 η - коэффициент динамической вязкости, $Па \cdot с$;
 r - радиуса шара, $м$,
 v - скорость шара, $\frac{м}{с}$.

Число Рейнольдса

Числом Рейнольдса называется безразмерная величина, равная

$$Re = \frac{\rho v r}{\eta},$$

где ρ - плотность жидкости или газа, $\frac{кг}{м^3}$;

v - скорость тела относительно жидкости или газа, $\frac{м}{с}$;

r - характерный размер тела (например, радиус шара), $м$;

η - коэффициент динамической вязкости жидкости или газа, $Па \cdot с$.

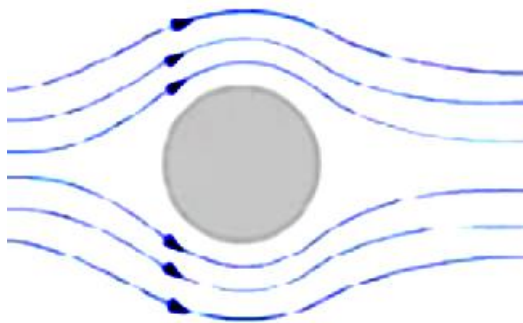
Текущую жидкость можно рассматривать как невязкую, если число Рейнольдса для такого течения $Re > 1$, и тогда она будет подчиняться уравнению Бернулли

$$p + \rho gh + \frac{\rho v^2}{2} = const.$$

Если $Re < 1$, то жидкость не подчиняется закону Бернулли.

Ламинарное и турбулентное течение

Ламинарным (или **слоистым**) называется течение, при котором слои жидкости текут не перемешиваясь, скользя относительно друг друга.

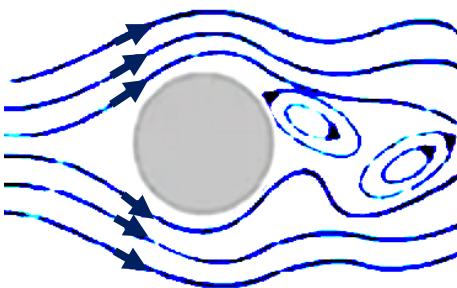


Оно характерно при малых скоростях течения и небольшой вязкости жидкости.

При ламинарном течении скорость частиц жидкости в каждой точке пространства остаётся неизменной.

Однако при достаточно больших скоростях ламинарное течение оказывается неустойчивым и переходит в так называемое турбулентное течение.

Турбулентным (или **вихревым**) называется течение, при котором в жидкости возникают завихрения.



При турбулентном течении скорость и давление в каждой точке потока быстро и нерегулярно изменяются во времени. Частицы жидкости совершают неустойчивые движения по сложным траекториям, что приводит к интенсивному перемешиванию слоёв движущейся жидкости.